

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование отравления бериллиевых блоков реактора ИРТ-Т

УДК 621.039.55:621.039.516

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Рыбаченко Артём Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать

	опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Бычков П.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0А6В	Рыбаченко Артёму Александровичу

Тема работы:

Исследование отравления бериллиевых блоков реактора ИРТ-Т	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.03.2020 № 62-18/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – тепловая мощность 6 [МВт]; – ядерное топливо - $UO_2 \cdot Al$; – материал теплоносителя - вода; – материал отражателя - Be; – обогащение урана по U^{235} - 90 [%]; – температура теплоносителя 50 [°C]; – температура ТВС 80 [°C]; – длительность стоянки реактора 700 [сут].
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ ситуации произошедшей на ИРТ-Т; – изучение опыта подобных исследований; – выбор методики расчёта; – создание расчётных моделей в программе WIMS-ANL; – расчёт концентрации ядер-отравителей и трития; – оценка влияния отравления бериллия на запас реактивности.
<p>Перечень графического материала</p>	<ul style="list-style-type: none"> – презентация; – спецификация;

(с точным указанием обязательных чертежей)		– сборочный чертёж ТВС типа ИРТ-3М.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.	
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Нет		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	27.04.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		27.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Рыбаченко Артём Александрович		27.04.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A6B	Рыбаченко Артёму Александровичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	– 30% премии; 20% надбавки; 30% районный коэффициент; – тариф на электроэнергию 5,7 руб./кВт·час.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %. – НДС 20%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	– Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; – SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: – определение структуры работ; – определение трудоёмкости работ; – разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: – материальные затраты; – заработная плата; – отчисления на социальные цели; – затраты на электроэнергию; – амортизационные отчисления; – накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Диаграмма Гантта
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		27.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A6B	Рыбаченко Артём Александрович		27.04.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А6В	Рыбаченко Артёму Александровичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Исследование отравления бериллиевых блоков реактора ИРТ-Т	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	– бериллий в отражателе активной зоны реактора ИРТ-Т
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); – ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования; – ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – ионизирующее излучение; – отсутствие или недостаток искусственного и естественного освещения.
3. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта исследования на атмосферу, гидросферу, литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – выбор возможных ЧС при эксплуатации проектируемого решения; – анализ наиболее типичной ЧС - пожар на рабочем месте.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		27.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Рыбаченко Артём Александрович		27.04.2020

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Уровень образования Бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2020	Выдача задания	
04.05.2020	Выбор методики расчёта	
11.05.2020	Расчёт концентрации ядер-отравителей и трития	
18.05.2020	Оценка влияния отравления бериллия на запас реактивности	
08.06.2020	Сдача работы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.н.		27.04.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 82 страницы, 26 рисунков, 12 таблиц, 25 источников, 5 приложений, 1 спецификацию, 1 чертёж.

Ключевые слова: исследовательский реактор, ИРТ-Т, WIMS-ANL, отравление бериллия, литий-6, гелий-3, тритий, запас реактивности, градиент концентрации.

Объектом исследования является (ются): бериллиевый отражатель в исследовательском реакторе ИРТ-Т, зависимость реактивности от отравления бериллия.

Цель работы – исследование отравления бериллия в реакторе ИРТ-Т для оценки сверхрасчётных потерь реактивности при учёте неравномерности распределения концентрации ядер-отравителей.

В процессе исследования проводились: расчёт концентрации ядер-отравителей и трития, оценка влияния отравления на запас реактивности, оценка финансовой стороны работы, рассмотрены социальные правовые и экологических вопросы.

В результате исследования получены данные позволяющие понять некоторые эффекты, связанные с режимом работы реактора и с его длительной остановкой в 2014 – 2016 годах.

Область применения: ядерная физика.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

В будущем планируется обоснование полученных результатов с физической точки зрения, уточнение расчётной модели для получения близких к реальным результатов.

Перечень определений

Кампания реактора: Время работы реактора на номинальной мощности без перегрузки топлива.

Отражатель: Конструктивная часть ядерного реактора, предназначенная для выравнивая коэффициента неравномерности нейтронного потока за счёт уменьшения утечки нейтронов.

Отравление бериллия: Процесс накопления в бериллии ядер Li^6 и He^3 , которые участвуют в непроизвольном захвате нейтронов, снижая запас реактивности реактора.

Отравление реактора: Это процесс накопления продуктов деления, участвующих в непроизвольном захвате нейтронов, тем самым снижающих запас реактивности реактора при их образовании и высвобождающих его при их радиоактивном распаде.

Ядерный реактор: Устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, сопровождаемой выделением энергии.

Обозначения и сокращения

Аз – активная зона;

ЗО – зонированный отражатель;

ИИ – ионизирующее излучение;

ИР – исследовательский реактор;

ИРТ-Т – исследовательский реактор тепловой - Томский;

МэВ – мегаэлектронвольт;

ОР – органы регулирования;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ЦО – цельный отражатель;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЯО – ядра-отравители;

ЯР – ядерный реактор.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Исследовательские реакторы типа ИРТ	16
1.2 Конструкция реактора ИРТ-Т	16
1.3 Бериллий как материал отражателя	18
1.4 Отравление бериллия.....	20
2 Расчётная часть.....	21
2.1 Методика расчёта	21
2.2 Расчёт концентрации ядер-отравителей, трития.....	23
2.2.1 Модель с ЦО	23
2.2.2 Модель с ЗО	27
2.3 Оценка влияния отравления бериллия на запас реактивности	32
2.3.1 Развитие эффекта в течение работы реактора.....	34
2.3.2 Стоянка реактора.....	37
2.3.3 Кампания после стоянки	38
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
3.1 Организация и планирование работ	41
3.1.1 Продолжительность этапов работ	42
3.2 Потенциальные потребители результатов исследования	45
3.3 Анализ конкурентных технических решений	46
3.4 SWOT-анализ.....	47
3.5 Расчёт накопления готовности проекта.....	50
3.6 Расчёт сметы на выполнение проекта	51
3.6.1 Расчёт затрат на материалы	52
3.6.2 Расчёт заработной платы.....	53

3.6.3 Расчёт затрат на страховые взносы	54
3.6.4 Расчёт затрат на электроэнергию	54
3.6.5 Расчёт амортизационных расходов	55
3.6.6 Расчёт прочих расходов.....	56
3.6.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки	56
3.6.8 Расчёт прибыли	57
3.6.9 Расчёт НДС	57
3.6.10 Цена разработки проекта.....	57
3.6.11 Оценка экономической эффективности проекта	58
4 Социальная ответственность	59
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
4.2 Производственная безопасность.....	62
4.2.1 Отклонение показателей микроклимата. Анализ фактора	62
4.2.2 Ионизирующее излучение. Анализ фактора	64
4.2.3 Искусственное и естественное освещение. Анализ фактора.....	66
4.3 Экологическая безопасность.....	66
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	67
Заключение	70
Список использованной литературы.....	73
Приложение А	76
Приложение Б	78
Приложение В.....	80
Приложение Г	81
Приложение Д.....	82

Введение

Исследовательские реакторы используются для многочисленных исследований в различных областях науки и техники: испытание новых материалов и оборудования, физические исследования, наработка изотопов, изменение свойств материалов и т.п. Поэтому важно поддерживать эффективность и работоспособность таких установок.

ИРТ-Т – исследовательский реактор бассейного типа с водным замедлителем и теплоносителем, в котором роль отражателя выполняет бериллий. Поддержание работоспособного состояния ЯР осуществляется при помощи контроля за его основными параметрами. В частности, контроль за реактивностью осуществляется экспериментальным методом (положение ОР) и расчётными методами (MCU, TIGRIS).

Реактивность реактора зависит от ряда параметров: обогащения топлива, нуклидного состава аз, температуры и иных. Характерным для ИРТ-Т реактивностным актором является отравление бериллия. Задачей бериллия является замедление нейтронов для последующего возвращения их в активную зону, однако при взаимодействии нейтронов с бериллием могут протекать реакции, в результате которых образуются ядра He^3 и Li^6 с высоким сечением поглощения тепловых нейтронов – 5327 и 940 барн соответственно. Накопление таких сильных поглотителей в отражателе (отравление бериллия) приводит к паразитному поглощению тепловых нейтронов и влечёт за собой изменение важной характеристики реактора – запаса реактивности.

В период с июня 2014 по май 2016 года реактор ИРТ-Т не работал, стоянка реактора составила порядка 700 дней. Последняя перед остановкой кампания реактора была проведена с 23 июня по 26 июня 2014 года. Конечный запас реактивности реактора перед остановкой был равен $3,3 \beta_{эф}$. По сделанным расчётным оценкам длительная стоянка реактора должна была привести к уменьшению запаса реактивности за счёт отравления бериллия на $1,6 \beta_{эф}$, за счёт переотравления реактора Sm^{149} после длительной стоянки теряется ещё $0,2 \beta_{эф}$. Суммарно потери должны были составить $1,8 \beta_{эф}$, а запас реактивности быть на

уровне $\sim 1,5 \beta_{\text{эф}}$.

Но вывод реактора на МКУ в конце апреля 2016 года показал, что его запас реактивности был всего $\sim 0,2 \beta_{\text{эф}}$, то есть после стоянки реактора была потеряна реактивность $3,1 \beta_{\text{эф}}$. Тогда, сверхрасчётные потери запаса реактивности составили $1,3 \beta_{\text{эф}}$. Объяснить это можно только тем, что неправильно были оценены потери за счёт отравления бериллиевых блоков реактора.

В дипломной работе было исследовано влияние отравления бериллиевых блоков реактора ИРТ-Т на запас реактивности. Полученные результаты позволяют понять некоторые эффекты, связанные с режимом работы реактора и с его длительной остановкой в 2014 – 2016 годах. Работа выполнена при помощи программы WIMS-ANL.

Для достижения цели работы были выполнены следующие задачи:

- выбрана методика проведения расчёта;
- исследовано накопление ядер-отравителей и трития в отражателях реактора;
- произведена оценка влияния отравления бериллия в разных режимах работы (работа на мощности, стоянка) и вычислен итоговый эффект;
- выполнена оценка ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- рассмотрены вопросы, связанные с производственной безопасностью и охраной труда.

1 Обзор литературы

1.1 Исследовательские реакторы типа ИРТ

Опыт сооружения и эксплуатации водо-водяных реакторов доказал их преимущество над другими типами: простота конструкции, удобство проведения экспериментов, относительно небольшая стоимость, низкие эксплуатационные расходы и безопасность в работе. Благодаря чему водо-водяные исследовательские реакторы получили наибольшее распространение [1].

ИРТ – исследовательский реактор тепловой. Это серийные реакторы бассейного типа с водяным охлаждением. Первый реактор ИРТ был пущен в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова в 1957 году, всего было построено 9 реакторов [1].

1.2 Конструкция реактора ИРТ-Т

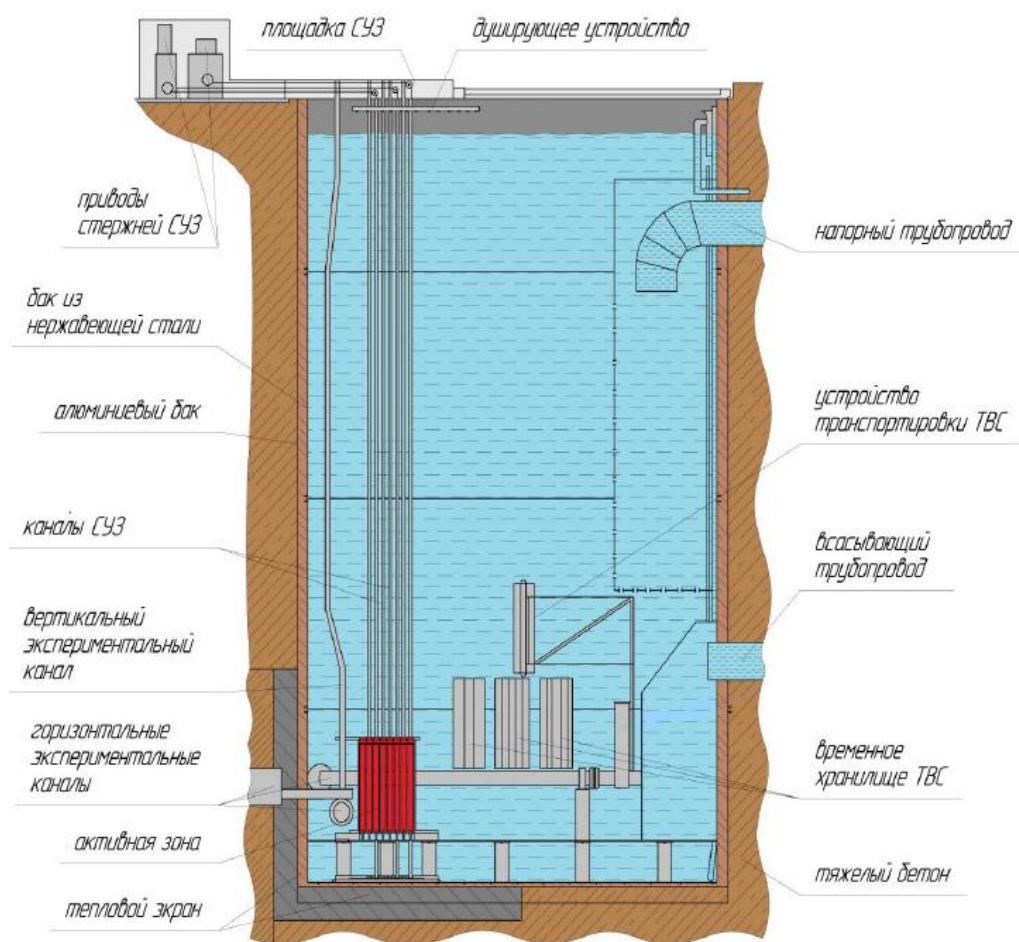


Рисунок 1 – Вертикальный разрез реактора ИРТ-Т

ИРТ-Т – исследовательский реактор тепловой – Томский. Это среднепоточный реактор бассейного типа мощностью 6 МВт с использованием воды в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней биологической защиты (рисунок 1). Реактор имеет водно-бериллиевый замедлитель и бериллиевый отражатель. Отражатель выполнен в виде блоков, которые расположены по периферии и в центре активной зоны. Активная зона реактора размещается в заполненном водой бассейне, центр аз расположен на глубине 6,5 м [2].

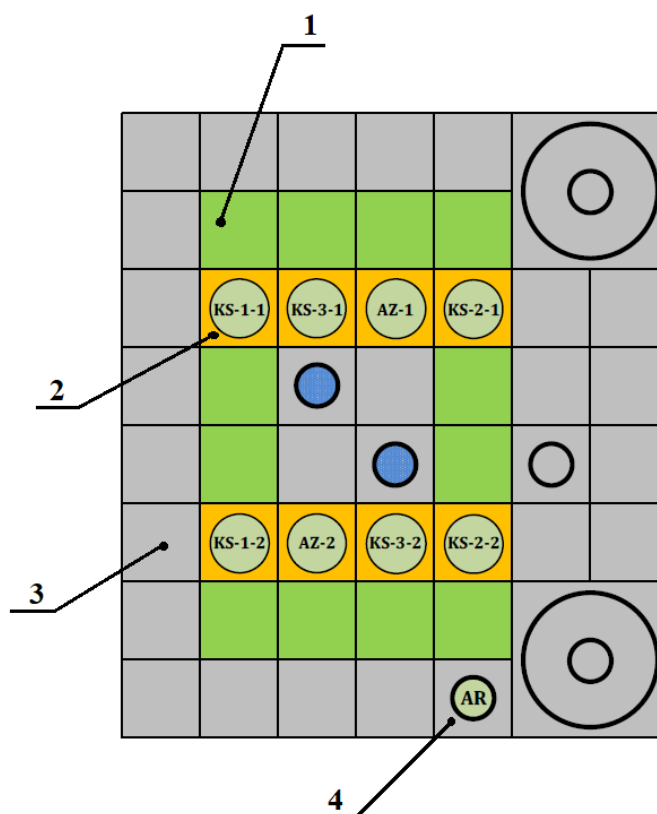


Рисунок 2 – Картограмма активной зоны ИРТ-Т

1 – восьмитрубные ТВС типа ИРТ-3М; 2 – шеститрубные ТВС типа ИРТ-3М с компенсирующими стержнями KS и аварийными AZ; 3 – бериллиевые блоки отражателя; 4 – блок отражателя со стержнем автоматического регулирования AR

На рисунке 2 приведена картограмма активной зоны. Активная зона состоит из 56 ячеек с шагом 71,5 мм, в которые могут быть установлены ТВС. Зона набирается из 12 восьмитрубных и 8 шеститрубных тепловыделяющих сборок (ТВС) типа ИРТ-3М. По периметру и в центре активной зоны установлено 30 бериллиевых блоков. Четыре центральных блока бериллия

образуют ловушку нейтронов [2].

В ИРТ-Т используется бериллий марки ДВ-56 плотностью $1,84 \text{ г/см}^3$. Содержание бериллия в блоке составляет 97,8%. Из примесей наиболее значимыми являются: железо (0,25%), кислород (1,3%), хром (0,05%), медь (0,04%). По высоте активной зоны бериллиевые блоки установлены симметрично [2].

Прилегающие к активной зоне бериллиевые блоки имеют внешние размеры $69 \cdot 69 \cdot 660 \text{ мм}$. С правой стороны (рисунок 2) в углах установлены два больших бериллиевых блока $138,5 \cdot 138,5 \cdot 660 \text{ мм}$ с пробками диаметром 96 мм и 44 мм [2].

1.3 Бериллий как материал отражателя

Отражательная способность материала зависит от его диффузионных характеристик: длины транспортного пробега нейтронов, длины диффузии, возраста нейтронов, которые зависят от макросечения рассеяния и поглощения, среднелогарифмических потерь энергии за один акт рассеяния. Кроме нейтронно-физических свойств, материал должен быть дешёвым и технологичным, чтобы его использование было целесообразно [3].

Бериллий представляет собой лёгкий твёрдый металл светло-серого цвета, имеет очень высокую стоимость, высокотоксичен, хрупок. Среди лёгких металлов бериллий обладает наивысшей температурой плавления ($T_{\text{пл}} = 1283 \div 1290^\circ\text{C}$), что важно для его применения при высоких рабочих температурах. Обладает низкой коррозионной активностью [4].

По совокупности физических свойств бериллий является одним из наиболее интересных и перспективных реакторных материалов (таблица 1) [5].

Таблица 1 – Константы, характеризующие замедление и диффузию нейтронов [6]

	$\rho, \text{ г/см}^3$	$\tau, \text{ см}^2$	$L^2, \text{ см}^2$	$\lambda_{\text{тр}}, \text{ см}$	$M^2, \text{ см}^2$	ζ	$\zeta \Sigma_s, \text{ см}^{-1}$	$k_{\text{зам}}$
--	------------------------	----------------------	---------------------	-----------------------------------	---------------------	---------	-----------------------------------	------------------

Продолжение таблицы 1

H_2O	1	27	7,4	0,49	34,4	0,948	1,35	61
D_2O	1,1	120	2560	2,88	2680	0,570	0,188	5700
Be	1,84	98	441	1,6	539	0,209	0,155	125
C	1,6	350	2916	2,6	3266	0,158	0,06	205

Он обладает высокой плотностью, неплохой замедляющей способностью и высоким коэффициентом замедления. Это делает его превосходным замедлителем и отражателем.

Облучение вызывает распухание и дополнительное охрупчивание. Под воздействием нейтронного излучения в бериллии протекают ядерные реакции, приводящие к замещению его ядер в кристаллической решетке другими ядрами. Образуется Li^6 и газообразные продукты: T , He^3 , He^4 , He^6 [5].

Гелий и тритий могут скапливаться в порах, образовывать газовые пузыри, вызывающие газовое распухание. Внедрение гелия и трития в кристаллическую решётку бериллия снижает его пластичность. Возникновение дефектов в кристаллической решетке бериллия приводит к образованию продольных и поперечных трещин в бериллиевых блоках, что требует их своевременной замены [7].

Преимущества:

- очень малое сечение поглощения тепловых нейтронов;
- большое сечение рассеяние;
- высокая температура плавления;
- хорошая коррозионная стойкость.

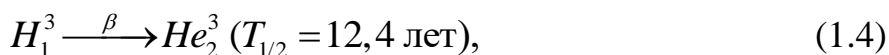
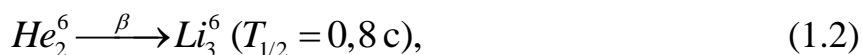
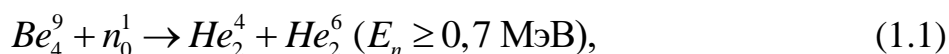
Недостатки:

- низкая пластичность;
- токсичность;
- высокая стоимость;
- хрупкость.

1.4 Отравление бериллия

Среди ядер, образующихся в результате облучения бериллия нейтронами, существует два нуклида с высоким сечением захвата тепловых нейтронов. Li^6 и He^3 обладают большим сечением захвата тепловых нейтронов – 945 и 5333 барн соответственно, поэтому их накопление в боковом отражателе и центральной ловушке приводит к ухудшению нейтронно-физических характеристик реактора (реактивности). К таким выводам пришли в статьях [8, 9, 10, 11]. Эти нуклиды по отношению к бериллию и реактору называются отравителями.

Накопление в бериллии He^3 и Li^6 происходит по следующей цепочке реакций (1.1 – 1.5):



Уравнение (1.1) позволяет судить, что накопление ядер-отравителей зависит исключительно от потока быстрых нейтронов с энергией не менее 0,7 МэВ.

Первым из ядер-отравителей образуется Li^6 в результате β -распада He^6 , (1.2), учитывая малый период полураспада последнего, можно сказать, что Li^6 образуется напрямую из (n, α) реакции на Be^9 .

(n, α) реакция на Li^6 приводит к образованию H^3 (1.3), который является материнским ядром для He^3 при его β -распаде (1.4), который в свою очередь воспроизводит тритий по (n, T) реакций (1.5). Два этих нуклида конвертируются друг в друга, поэтому эффект от отравления будет только расти.

2 Расчётная часть

2.1 Методика расчёта

Как было сказано в начале работы, после выхода реактора с 700 дневной стоянки фактический запас реактивности оказался значительно меньше, чем рассчитанный. Объяснить эту разницу можно только тем, что потери за счёт отравления бериллия были оценены неверно.

В работе [12] было сделано предположение, что блоки бериллия отравляются в неравной степени, из-за чего в отражателе существует неравномерность распределения концентрации ядер-отравителей, которая оказывает влияние на изменение запаса реактивности. В основе предположения лежит тот факт, что поток быстрых нейтронов с $E_n \geq 0,7$ МэВ (которые вызывают появление ядер-отравителей) падает в отражателе от границы аз и до края отражателя (рисунок 3). Уменьшение потока нейтронов ведёт к уменьшению скорости реакции образования ядер-отравителей, из-за чего слои отражателя, прилежащие к аз отравлены в большей степени.

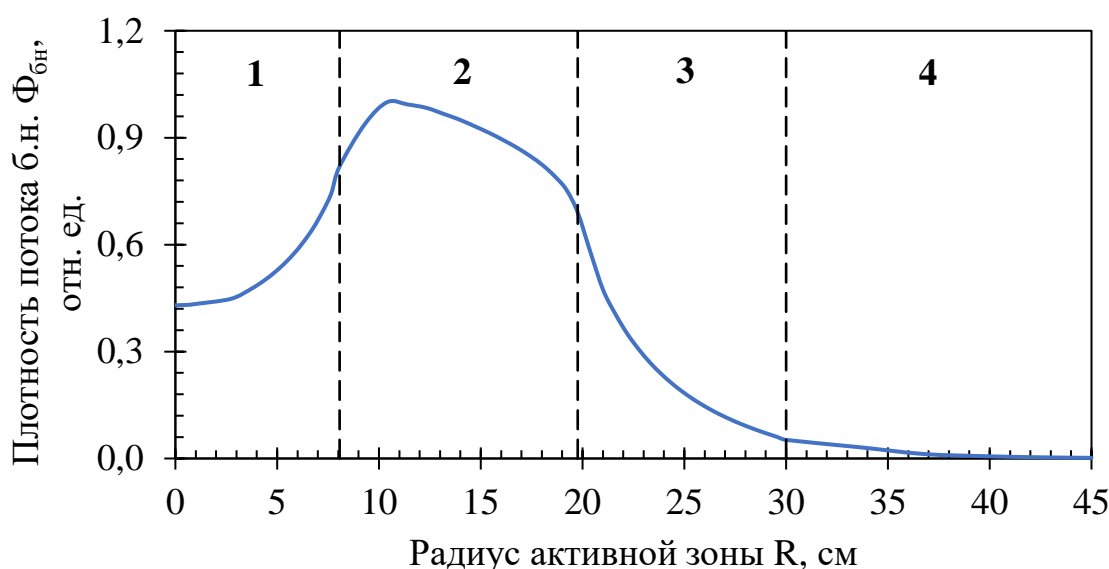


Рисунок 3 – Распределение плотности потока б.н. по радиусу аз

1 – центральный отражатель; 2 – активная зона; 3 – боковой отражатель;
4 – вода

Поэтому, для того чтобы оценить сверхрасчётные потери реактивности

был проведен расчёт в программе WIMS-ANL. Работа в программе строилась на основе пособий [13, 14]. В рамках расчёта было создано две модели с цельным отражателем и с отражателем, в котором было проведено позонное деление. Подобная методика продемонстрирована в работе [15]. Далее для краткости будем называть ЗО – зонированный отражатель, ЦО – цельный отражатель.

В ЗО было выделено 4 зоны в центральном и 6 в боковом (количество зон выбрано произвольно). Выбор радиуса зоны основан на снижении потока нейтронов на 25% и 16,7% соответственно (рисунок 4). Границы зон представлены в таблице 2.

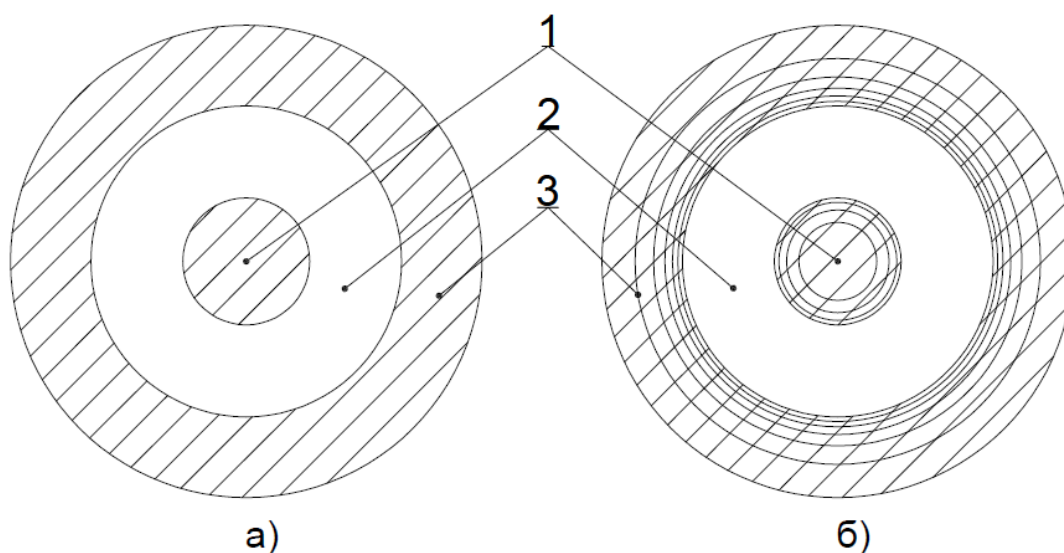


Рисунок 4 – Геометрия ячейки в программе WIMS-ANL: а) ЦО; б) ЗО

1 – центральный отражатель; 2 – активная зона; 3 – боковой отражатель

Таблица 2 – Границы зон в расчётной модели

	Центральный отражатель				Аз	Боковой отражатель					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Радиус R, см	5	6,5	7,5	8,1	19,8	20,3	21	22	23,4	25,8	30

Для каждой модели проведён следующий расчёт. Вначале 15 кампаний общей длительностью ~4000 суток, такая длительная работа реактора связана с большим периодом полураспада трития ($T_{1/2} = 12,4$ лет), чтобы He^3 накопился и стал оказывать влияние на реактор, должно пройти значительное время.

Затем проведена 700 дневная стоянка, а после неё одна кампания, по которой уже можно будет судить о влиянии остановки, но главное о влиянии распределения концентрации ядер-отравителей на «сверхрасчётные потери». Суммарно время исследования эффекта составило ~4800 суток.

Код моделей с ЦО и ЗО представлен в приложениях А и Б соответственно.

2.2 Расчёт концентрации ядер-отравителей, трития

Прежде чем оценить изменение запаса реактивности от отравления бериллия было исследовано накопление ядер-отравителей и трития в отражателе. Это необходимо для того, чтобы в последствии провести причинно-следственную связь между:

- изменением запаса реактивности и ростом концентрации отравителей бериллия;
- распределением концентрации по отражателю и влиянием на реактивность.

2.2.1 Модель с ЦО

В рамках модели с ЦО исследовано изменение концентрации в центральном и боковом отражателе и по всему отражателю в целом.

На рисунке 5 представлена зависимость концентрации лития-6 от времени исследования.

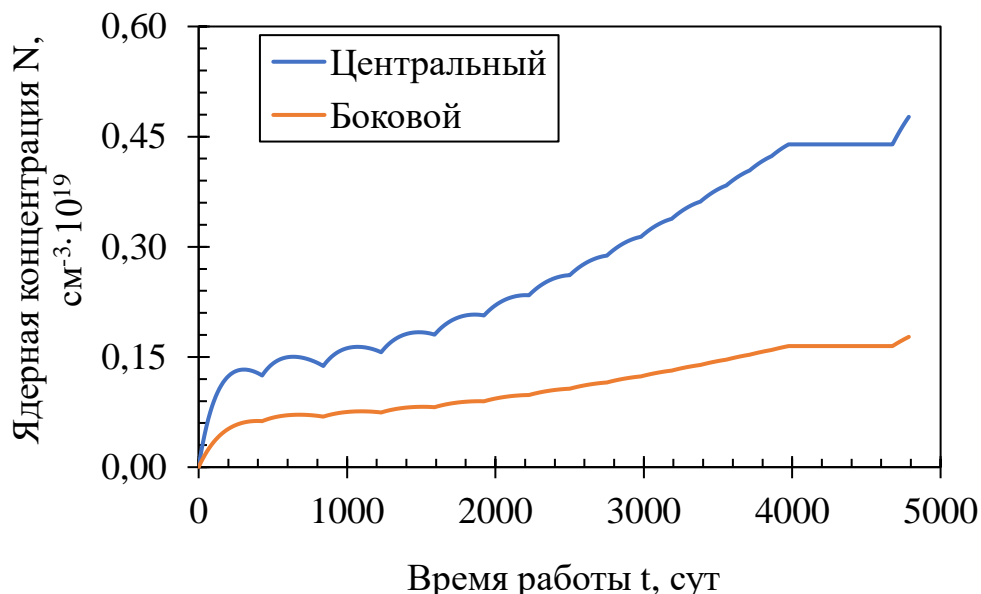


Рисунок 5 – Зависимость концентрации лития-6 от времени

Из графика следует, что отравление бериллия литием-6 сильнее в центральной отражателе нежели в боковом. Значит боковой отражатель имеет больший вклад в общую потерю запаса реактивности.

Пока реактор работал на мощности, концентрация лития росла, причём зависимость концентрации лития от времени имеет сложный характер – в начале концентрация растёт по логарифмическому закону, затем рост имеет экспоненциальный характер, кроме этого, в начале каждой кампании концентрация растёт, а затем падает, но в среднем идёт рост.

Во время стоянки концентрация постоянна, т.к. данный изотоп стабильный. В кампании после стоянки концентрация снова начала расти, т.е. изменение концентрации лития зависит от режима работы реактора.

На рисунке 6 представлена зависимость концентрации гелия-3 от времени исследования.

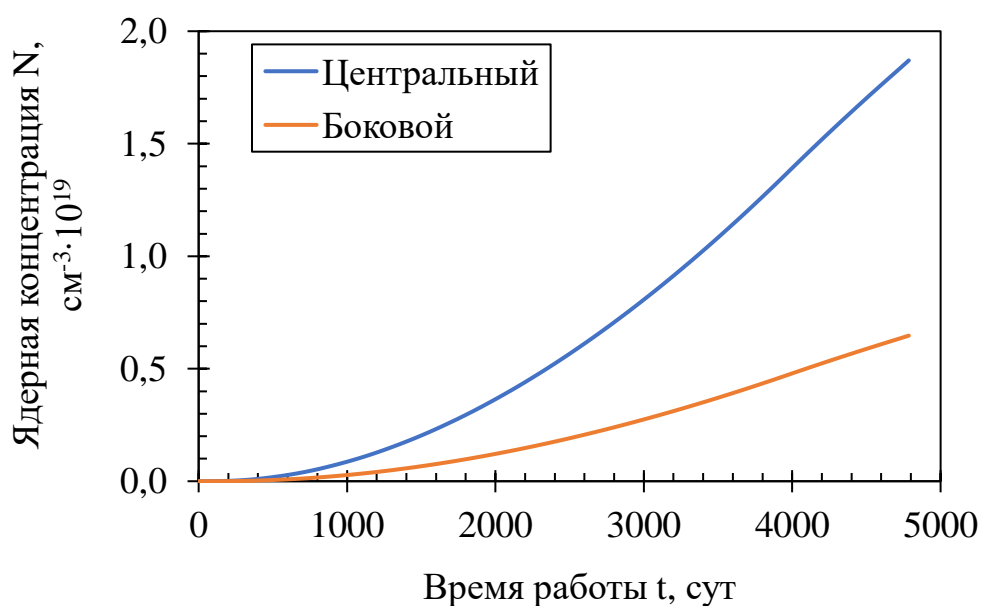


Рисунок 6 – Зависимость концентрации гелия-3 от времени

Концентрация гелия-3 экспоненциально росла в течение всего времени исследования как во время работы на мощности, так и во время стоянки, т.к. он (гелий) образуется в результате радиоактивного распада трития, который образуется параллельно. Изменение концентрации гелия зависит только от количества наработанного трития. Как и в случае с литием, центральный

отражатель отравлен сильнее.

Стоит отметить, что во время стоянки скорость роста концентрации гелия должна была измениться т.к. он больше не выгорает и только образуется, чего на графике не видно из-за большого периода полураспада трития, в сравнении с которым 700 дней стоянки (~2 года) малая величина.

На рисунке 7 представлена зависимость концентрации трития от времени исследования.

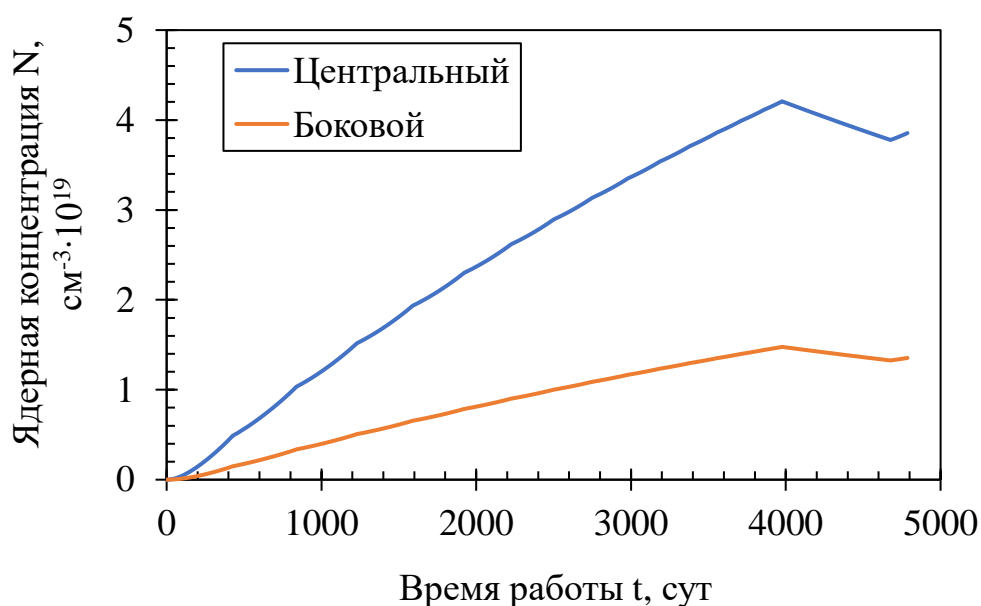


Рисунок 7 – Зависимость концентрации трития от времени

Во время работы реактора концентрация трития росла практически линейно. Однако при детальном рассмотрении, как в случае с литием, зависимость имеет сложный характер – каждую кампанию концентрация растёт с разной скоростью из-за чего кривая представляет собой набор экспоненциальных функций.

Стоянка реактора приводит к уменьшению концентрации т.к. новые ядра не набираются, а уже имеющиеся распадаются. Кампания после стоянки снова приводит к росту концентрации. Изменение концентрации трития зависит от режима работы реактора. Как и ранее центральный отражатель является наиболее отравленным.

На рисунке 8 представлен сводный график для концентрации ядер-отравителей и трития по всему отражателю.

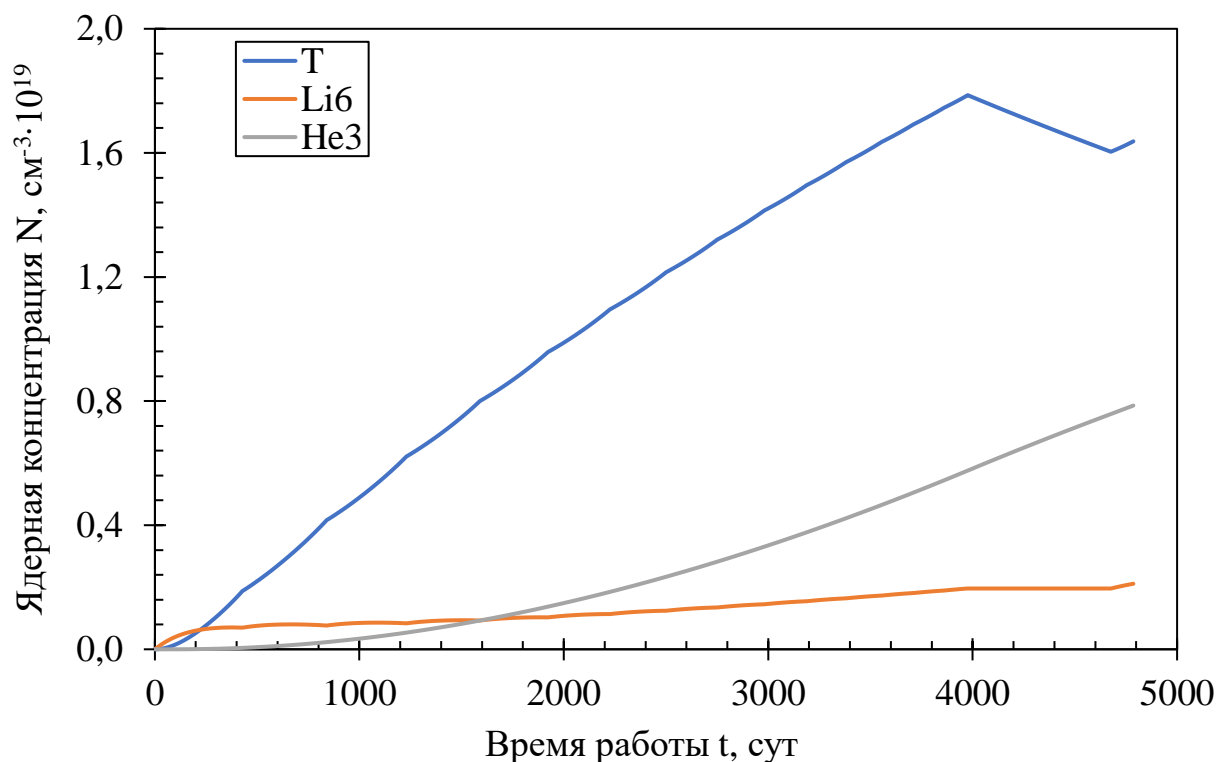


Рисунок 8 – Изменение концентрации ядер-отравителей и трития по всему отражателю

По графику можно сделать следующие выводы. Больше всего было наработано трития – $1,79 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, затем гелия – $5,76 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а меньше всего лития – $1,96 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (на момент 4000 суток, до остановки). После остановки (4700 суток) концентрации составили: тритий – $1,6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, гелий – $7,58 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, литий – $1,96,11 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. А в итоге (4800 суток) концентрации: тритий – $1,64 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, гелий – $7,86 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, литий – $2,11 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

По времени ядра-отравители в разной степени влияют на реактивность, так примерно первые 1000 суток литий вносит основной вклад в эффект отравления из-за подавляющей концентрации, однако после этого нарабатывается достаточно гелия, чтобы из-за разницы в сечении захвата тепловых нейтронов (в 5 раз) стать основным отравителем.

Остановка реактора показала наличие следующих особенностей у приведённых нуклидов.

Во-первых, литий-6, являясь стабильным изотопом, остаётся в бериллии при простое реактора в отличие от ксенона в топливе, постоянно оказывая влияние на реактивность, которое с годами только растёт.

Во-вторых, тритий, будучи источником для гелия, является серьёзной проблемой для работы реактора, т.к. в случае остановки он начинается распадаться до гелия-3, который будучи стабильным, остаётся в отражателе в течение всего времени его эксплуатации. Поэтому стоянка реактора является нежелательным явлением, т.к. только усиливает эффект отравления.

2.2.2 Модель с 3О

В рамках модели с 3О исследовано изменение концентрации в слоях отражателей, в целом по центральному и боковому отражателю, и проведено сравнение концентраций по всему отражателю в обоих моделях.

На рисунках 9 и 10 представлена зависимость концентрации лития-6 от времени исследования в слоях отражателей и в самих отражателях.

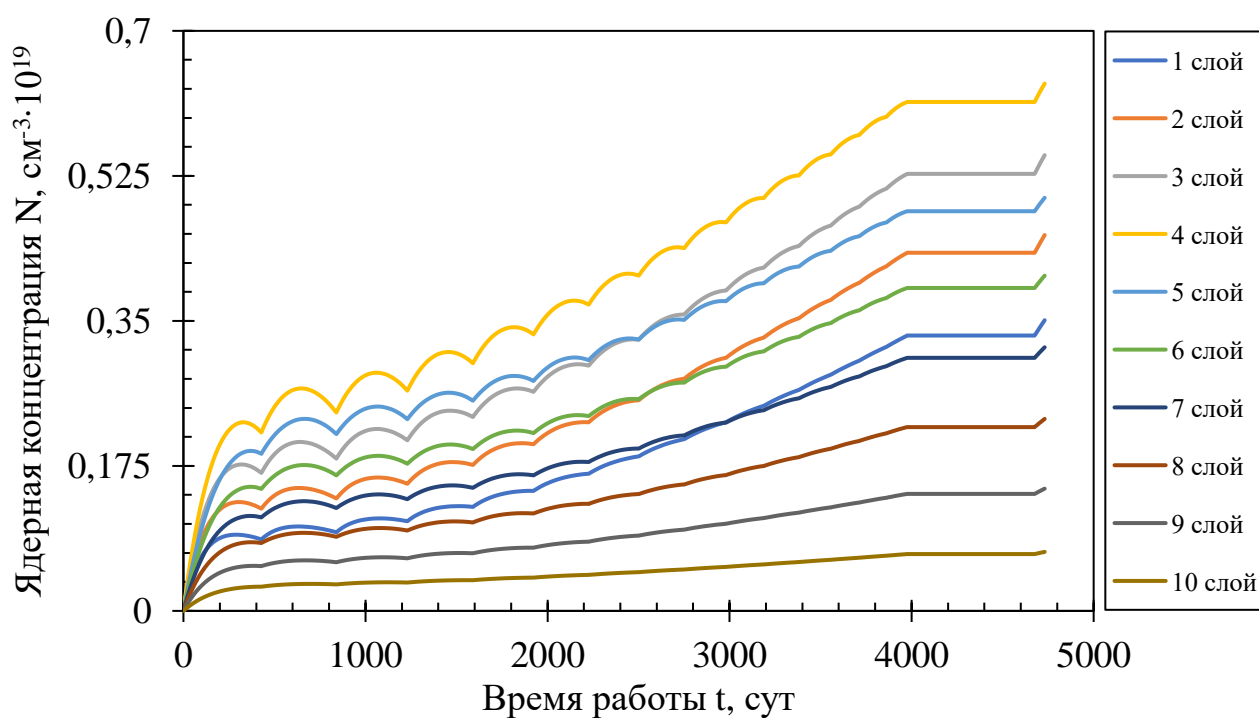


Рисунок 9 – Зависимость концентрации лития-6 от времени

Как предполагалось, отравление бериллия происходит преимущественно в слоях, непосредственно прилегающих к активной зоне (слои 4 и 5), слои 3-4 центрального отражателя отравляются интенсивнее всего, затем идёт первый слой бокового (5 слой). Сохраняется сложный характер зависимости концентрации от времени, кроме того, чем сильнее отравлен слой, тем, ярче это выражено. Работа на мощности и стоянка оказывают те же эффекты на концентрацию что и в ЦО.

Стоит отметить, что на диапазоне 2000-3000 суток, скорость роста концентрации в некоторых слоях меняется и они начинают обгонять/отставать друг от друга. Это слои: 3 и 5, 2 и 6, 1 и 7. Если обратиться к графику, то окажется, что слои центрального отражателя начинают обгонять слои бокового.

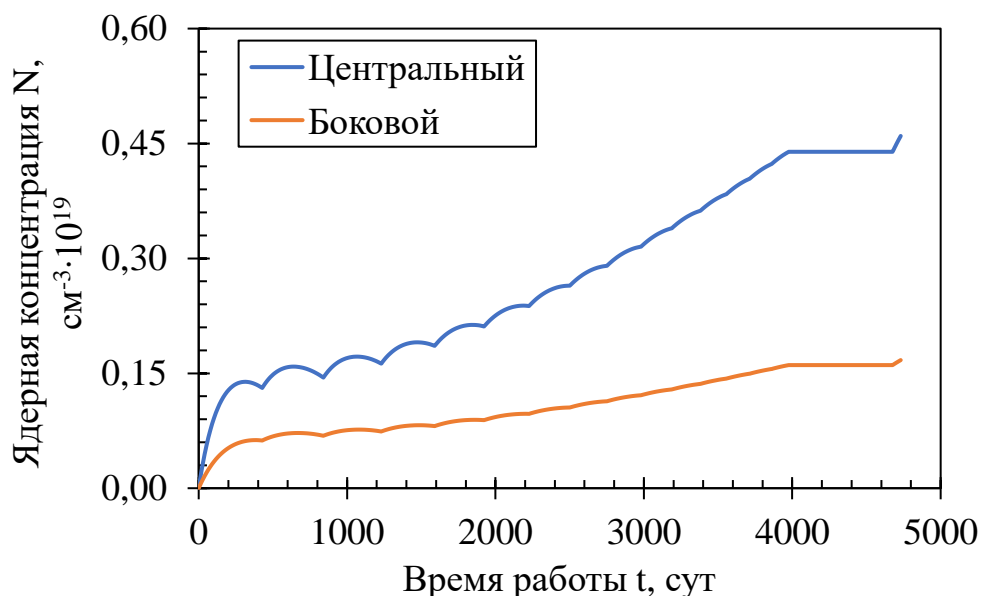


Рисунок 10 – Концентрация лития-6 по двум отражателям

Центральный отражатель в этой модели тоже отравлен сильнее, чем боковой.

На рисунках 11 и 12 представлена зависимость концентрации гелия-3 от времени исследования в слоях отражателей и в самих отражателях.

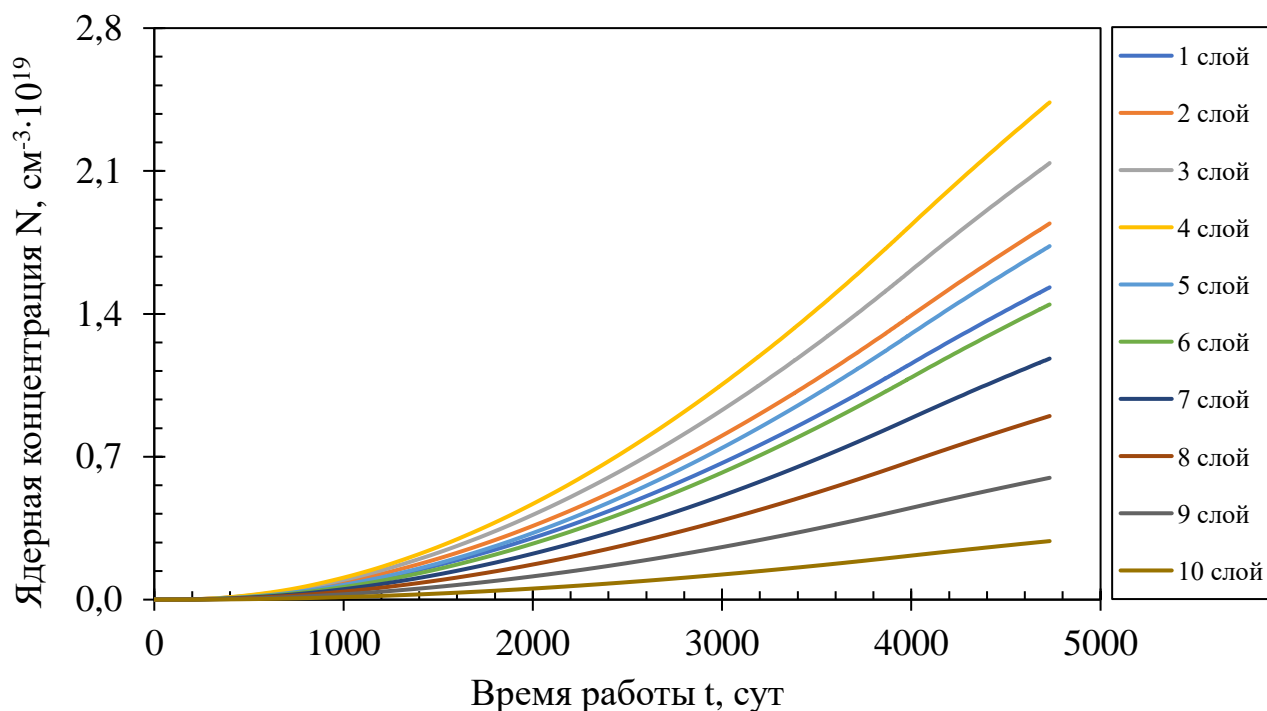


Рисунок 11 – Зависимость концентрации гелия-3 от времени

Прилегающие к аз слои накапливают больше гелия-3, чем внутренние. Слои 3-4 также являются самыми отравленными, однако теперь 5 слой отравлен слабее 2, в сравнении с литием-6. Рост, как и в ЦО, экспоненциальный, его скорость не меняется, и градация слоёв сохраняется. Работа на мощности и стоянка оказывают те же эффекты на концентрацию что и в ЦО.

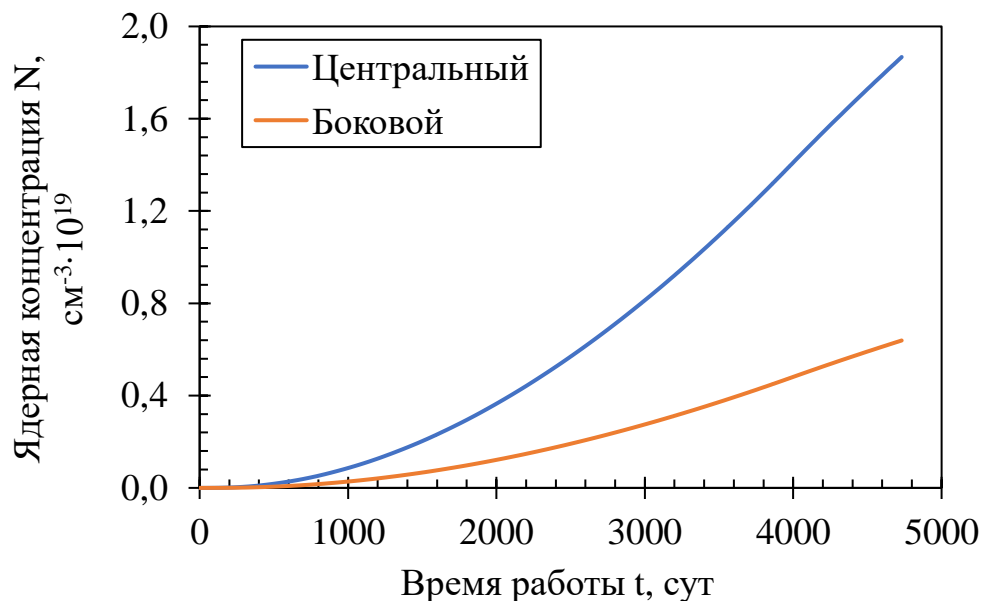


Рисунок 12 – Концентрация гелия-3 по двум отражателям

Центральный отражатель в этой модели тоже отравлен сильнее, чем боковой.

На рисунках 13 и 14 представлена зависимость концентрации трития от времени исследования в слоях отражателей и в самих отражателях.

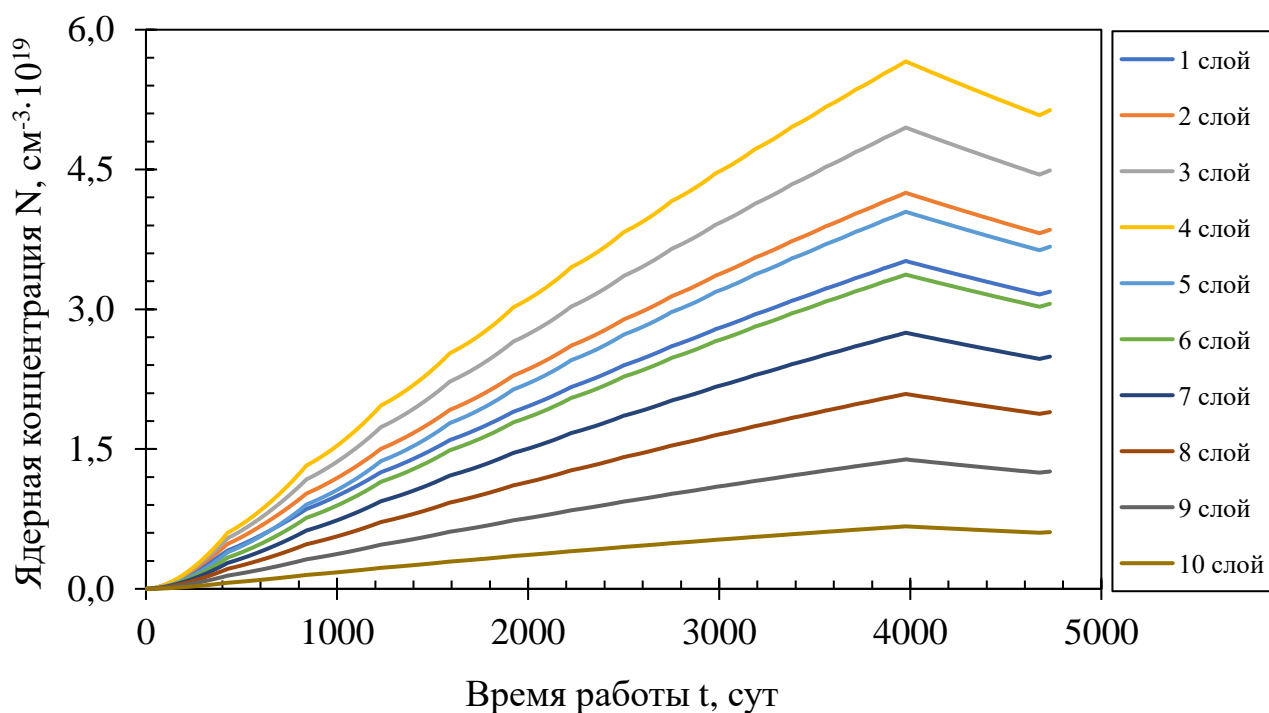


Рисунок 13 – Зависимость концентрации трития от времени

Как и ранее прилегающие к аз слои накапливают больше трития, чем внутренние. Последовательность слоёв по степени отравления повторяет зависимость для гелия-3. Сохраняется сложный характер зависимости концентрации от времени, кроме того, чем сильнее отравлен слой, тем ярче это выражено. Работа на мощности и стоянка оказывают те же эффекты на концентрацию что и в ЦО.

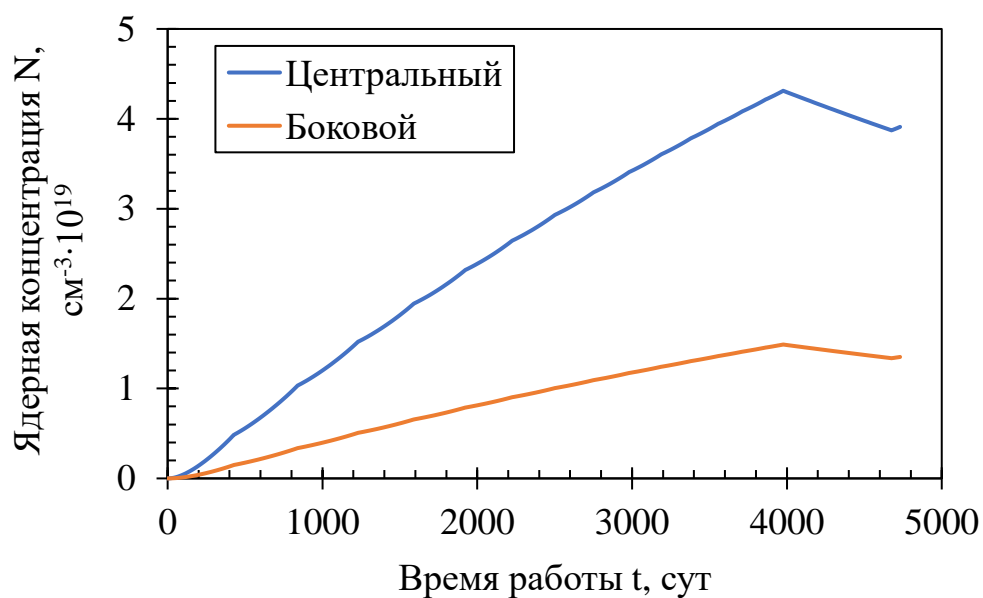


Рисунок 14 – Концентрация трития по двум отражателям

Центральный отражатель в этой модели тоже отравлен сильнее, чем боковой.

На рисунке 15 представлен сводный график для сравнения концентрации ядер-отравителей и трития по всему отражателю в модели с ЗО и ЦО.

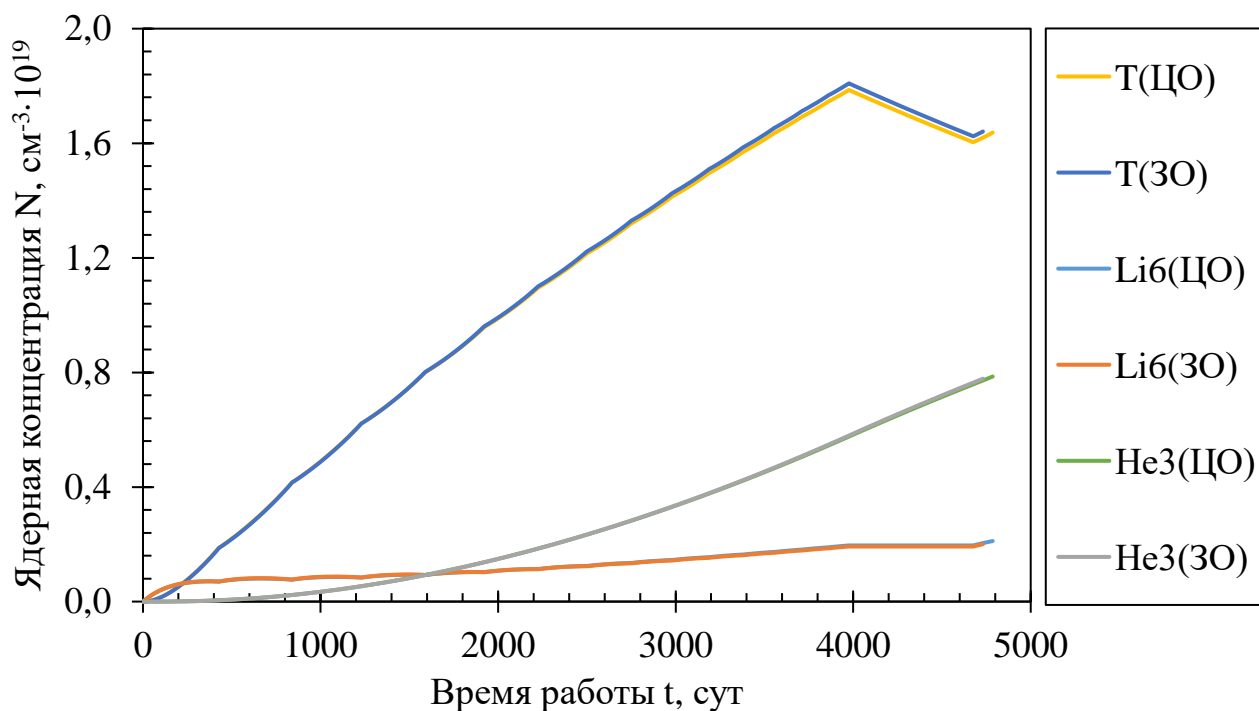


Рисунок 15 – Сравнение изменения концентрации ядер-отравителей и трития в ЦО и ЗО

Итоговый график полностью повторяет аналогичный для модели с ЦО. Это очень важно для проведения исследования т.к. для нас ключевым является тезис о переотравлении граничного с аз слоя отражателя и то, какой эффект на реактивность несёт с собой следующее за этим изменение распределения концентрации ядер-отравителей в отражателе, если бы итоговые концентрации отличались, то не о какой однозначной связи между градиентом концентрации и сверхрасчётными потерями говорить бы не пришлось.

2.3 Оценка влияния отравления бериллия на запас реактивности

После исследования накопления ядер-отравителей, следует оценка их влияния на реактивность и того, как поведут себя разные расчётные модели. В данном разделе была проведена оценка и сравнение потери реактивности от отравления бериллия для модели с ЦО и ЗО.

На рисунке 16 представлена зависимость реактивности реактора от времени и режима работы.

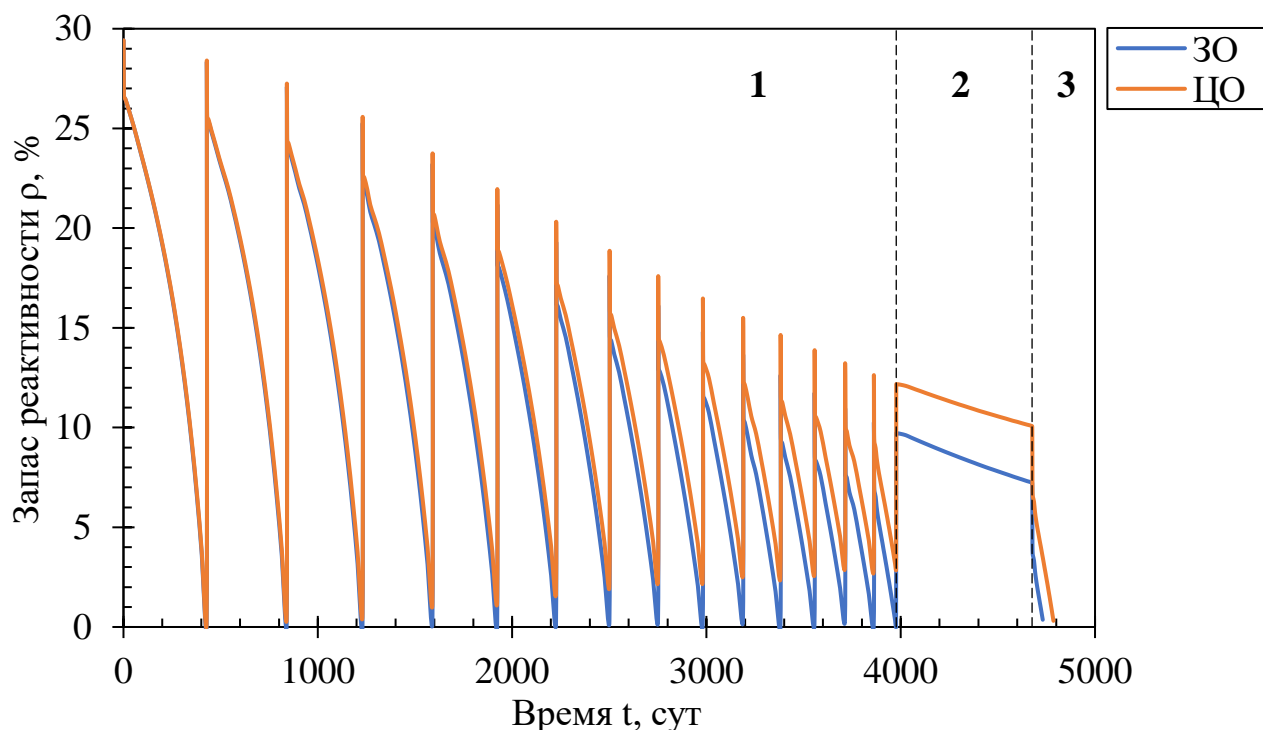


Рисунок 16 – Изменение запаса реактивности реактора во время исследования

1 – 15 кампаний; 2 – 700 дневная стоянка; 3 – кампания после стоянки

График иллюстрирует результаты исследования влияния отравления на запас реактивности для случаев с ЦО и ЗО. На графике изображены две кривые и три области работы реактора: работа на мощности, стоянка и работа после стоянки, которые позволяют оценить, как ведёт себя реактивность при разных режимах работы и как нарастает эффект.

Первая область описывает поведение запаса реактивности ИРТ-Т при работе на мощности в течение 15 кампаний. Данные кривые отражают особенности изменения запаса реактивности. Каждая кампания подчиняется одним и тем же законам. В первые двое суток потери реактивности связаны с накоплением ядер ксенона-135, а все дальнейшие потери связаны с отравлением самарием-149, выгоранием топлива, накоплением шлаков, а также накоплением в бериллии лития-6 и гелия-3.

Однако, в начале каждой новой кампании запас реактивности становится всё меньше и меньше в сравнении с предыдущими. Т.к. топливо перегружается, то единственными нуклидами способными влиять на реактивность являются гелий-3 и литий-6, которые остаются в бериллиевых блоках. И как можно заметить, рост концентрации ядер-отравителей (рисунок 15) совпадает с ростом потерь реактивности в каждой кампании. Помимо этого, оставшийся запас реактивности как в конце кампании, так и в начале для ЦО постоянно растёт, т.е. эффект отравления в таком случае будет меньшим при той же концентрации ядер-отравителей, значит распределение концентрации по отражателю играет свою роль.

Вторая область описывает изменение запаса реактивности во время стоянки реактора. Потери реактивности линейные и разница между двумя кривыми отчётливо видна.

Третья область демонстрирует кампанию после стоянки. Видно, как её продолжительность, так и запас реактивности на начало кампании отличаются. Значит сверхрасчётные потери реактивности возникают при неучёте разницы отравления слоёв отражателя.

Далее был проведен разбор каждого режима работы реактора с оценкой

эффекта отравления.

2.3.1 Развитие эффекта в течение работы реактора

На рисунках 17 и 18 приведено изменение запаса и темп потери реактивности в течение первой кампании для моделей с ЗО и ЦО.

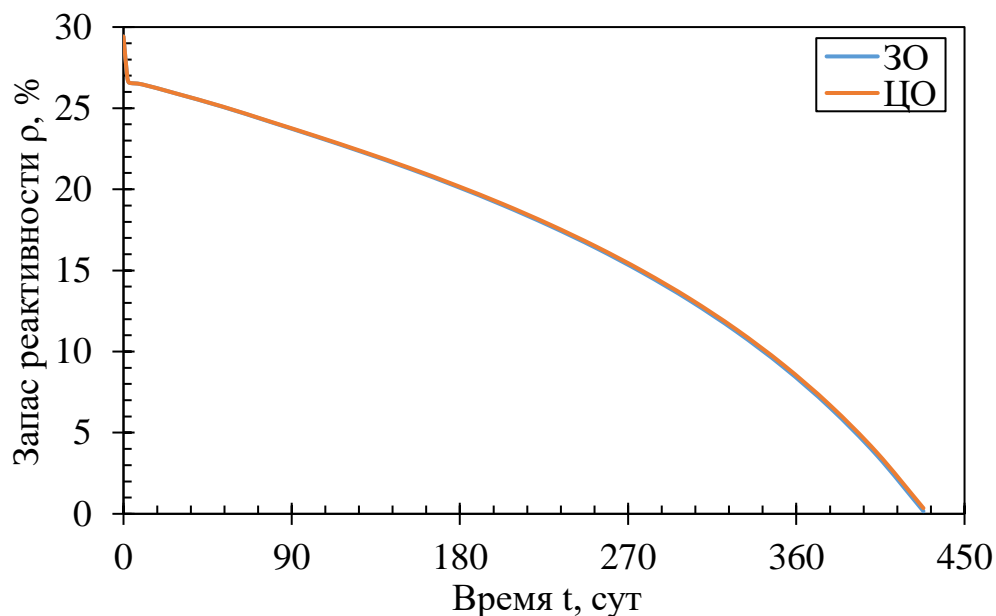


Рисунок 17 – Изменение запаса реактивности в первой кампании

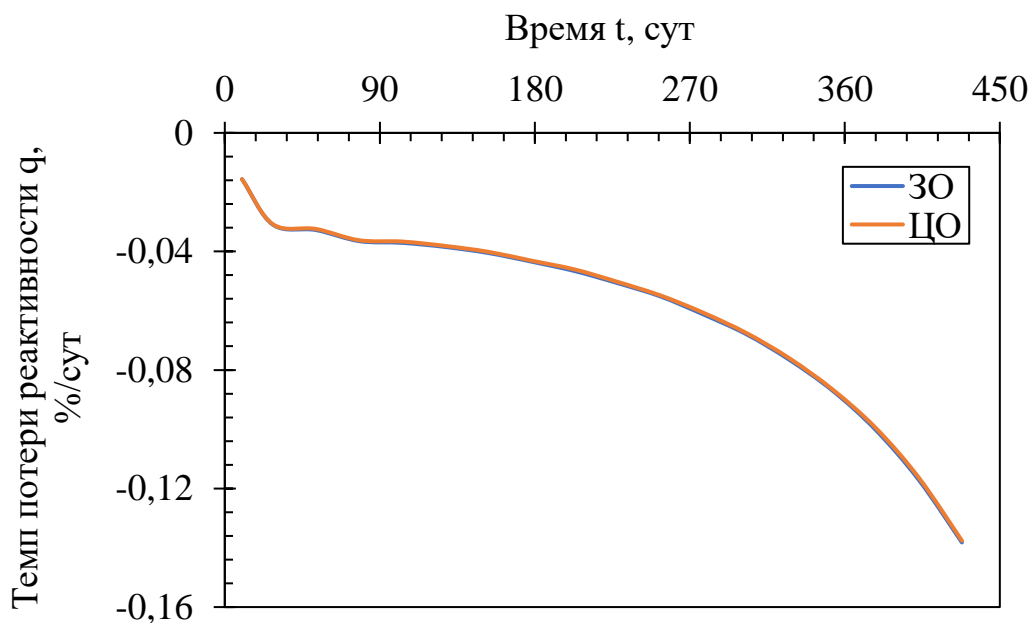


Рисунок 18 – Темп потери реактивности в первой кампании

Как следует из графиков, в первой кампании отличий между моделями нет, и они обе описывают одинаковую зависимость с равным темпом потери

реактивности. Запас реактивности порядка 29%, длительность кампании 425 дней.

На рисунках 19 и 20 приведено изменение запаса и темп потери реактивности в течение последней кампании для моделей с 3О и ЦО.

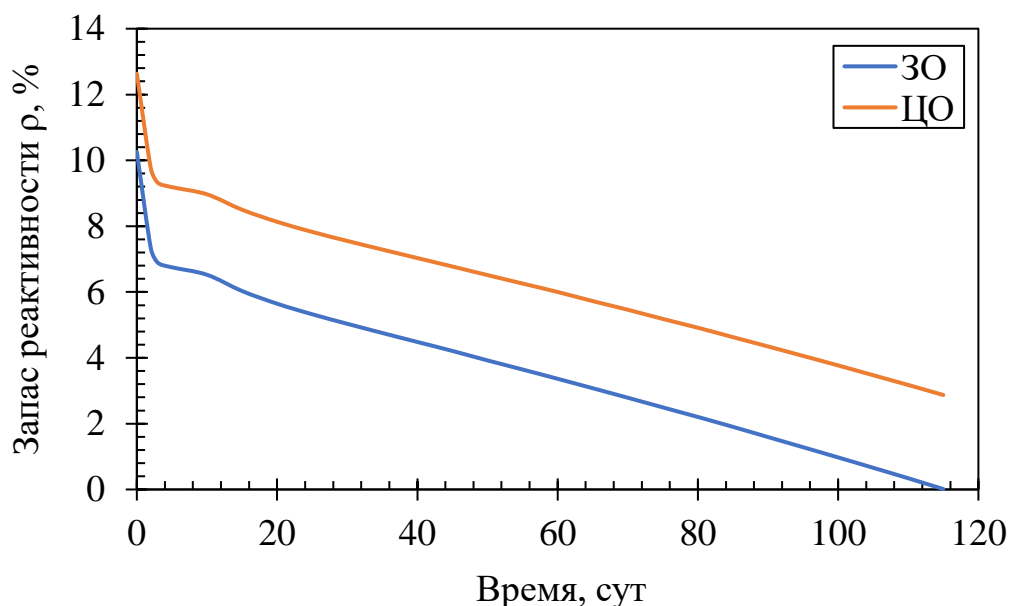


Рисунок 19 – Изменение запаса реактивности в последней кампании

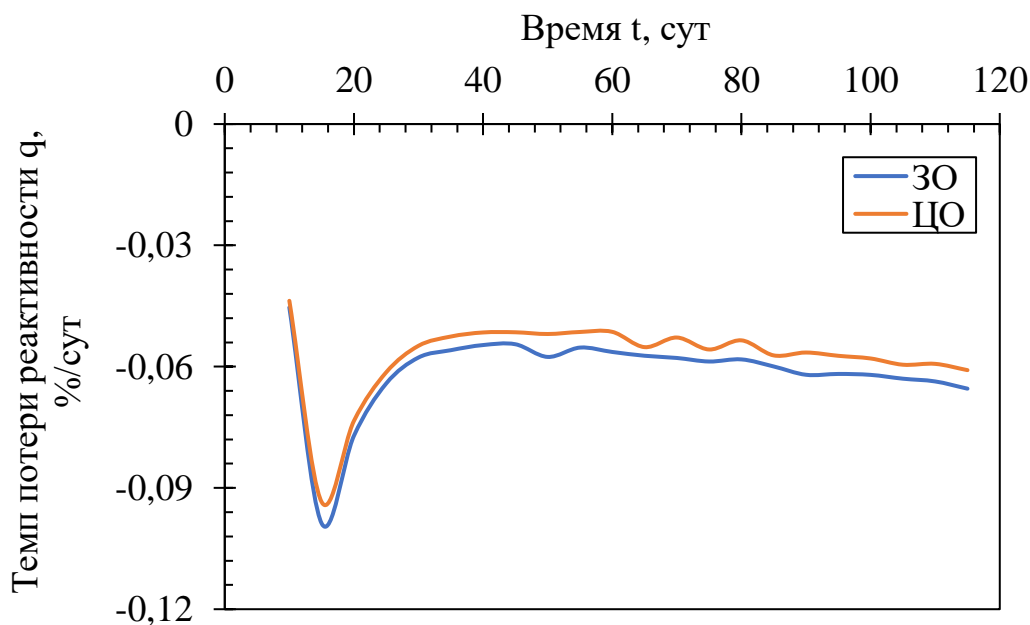


Рисунок 20 – Темп потери реактивности в последней кампании

Последняя кампания разительно отличается от первой, запас реактивности в 3О упал и составил 10,2% в сравнении с 12,6% для ЦО. Формы

кривых повторяют друг друга, темп потери реактивности отличается слабо, но разный начальный запас реактивности сократил время работы реактора с ЗО, а кампания для ЦО потенциально могла бы ещё продолжаться.

На рисунке 21 приведено изменение величины отравления в начале каждой кампании.

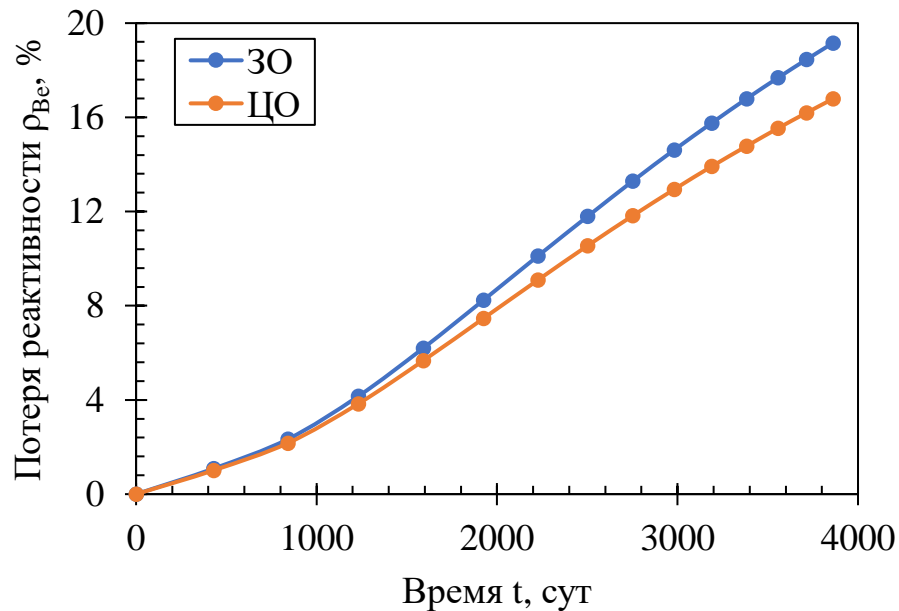


Рисунок 21 – Потери реактивности от отравления в каждой кампании

В обеих моделях с каждой кампанией растёт потеря реактивности из-за отравления бериллия, но деление отражателя на зоны приводит к росту величины потерь, а также, чем дольше работает реактор, тем больше разница в результатах, полученных в разных моделях. По итогам потеря реактивности за всё время работы составила 19,2% и 16,8%. Так же на графике есть точка перегиба на моменте 1500 суток, где меняется характер роста потерь.

В среднем за год работы реактор теряет реактивность в размере (2.1):

$$\rho_{Be}^{год} = \frac{d\rho_{Be}}{dt}, \frac{\%}{год}, \quad (2.1)$$

$$ЗО: \rho_{Be}^{год} = \frac{19,157}{10,58} = 1,81 \frac{\%}{год},$$

$$ЦО: \rho_{Be}^{год} = \frac{16,786}{10,58} = 1,59 \frac{\%}{год}.$$

Темп потери реактивности в ЗО выше, чем в ЦО.

На рисунке 22 приведена зависимость потерь продолжительности кампании от номера кампании.

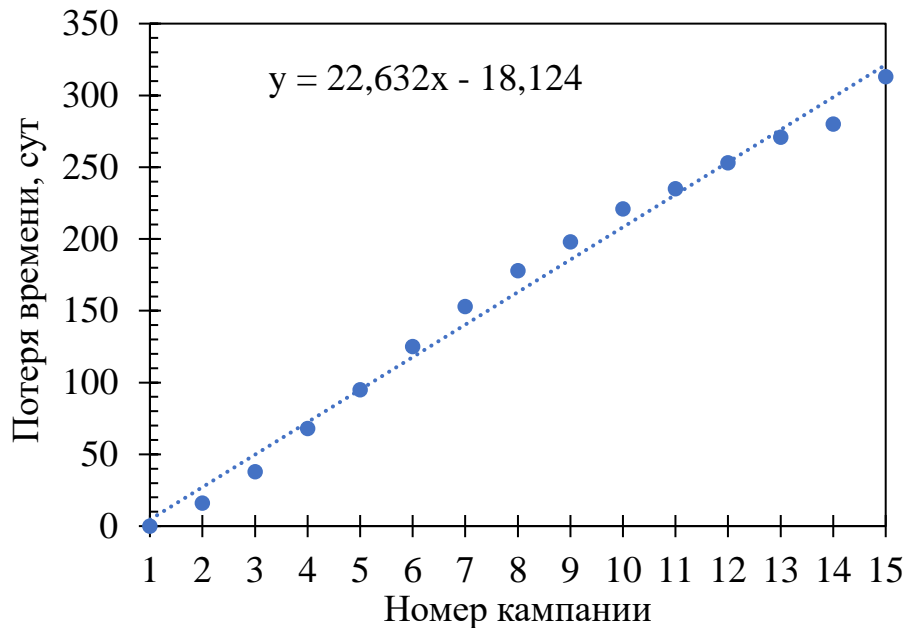


Рисунок 22 – Потери продолжительности кампании

Уменьшение запаса реактивности влечёт за собой сокращение работы реактора. Поэтому дополнительно были учтены потери в продолжительности кампании для ЗО. Как видно, значения с достаточной точностью описываются линейной зависимостью (2.2):

$$y = 22,632 \cdot x - 18,124. \quad (2.2)$$

Средние потери продолжительности кампании составляют (2.3):

$$T = \frac{dt}{n}, \text{ сут}, \quad (2.3)$$

$$T = \frac{dt}{n} = \frac{313}{15} = 20,87 \text{ сут.}$$

2.3.2 Стоянка реактора

Потеря запаса реактивности во время стоянки реактора приведена на рисунке 23 и в таблице 3.

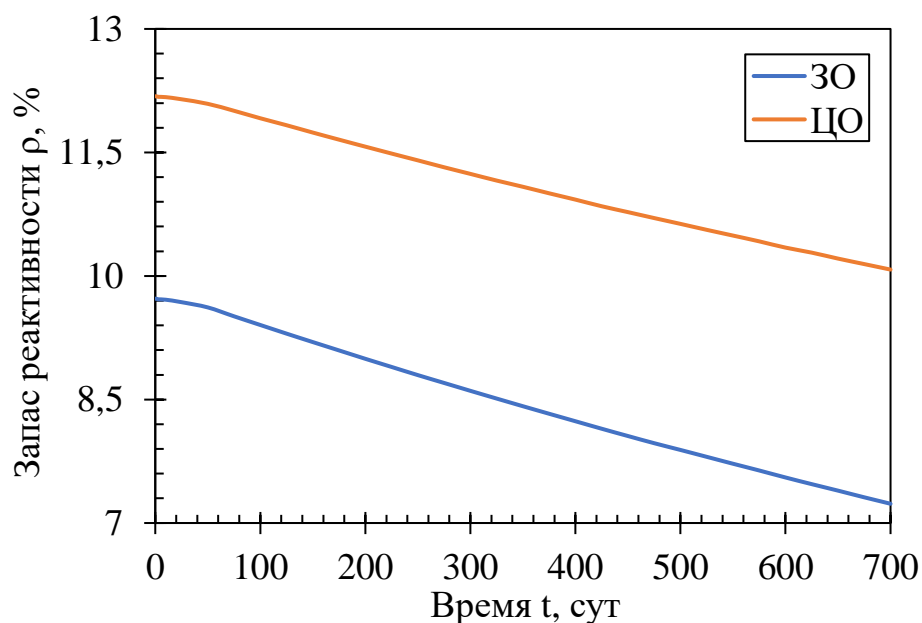


Рисунок 23 – Потеря реактивности во время стоянки реактора

Таблица 3 – Изменение реактивности во время стоянки

	$\rho_0, \%$	$\rho_{700}, \%$	$d\rho,$		$d\rho/dt, \%/год$
			$\%$	β	
ЗО	9,73	7,23	-2,5	-3,89	-1,3
ЦО	12,18	10,08	-2,1	-3,29	-1,1

Стоянка реактора привела к уменьшению запаса реактивности. Зависимость линейная и непрерывная для обоих случаев. Реактор с ЗО имея меньший запас реактивности на начало стоянки обладает и большей величиной потерь реактивности за время стоянки -2,5% против -2,1% (на 19% больше), о чём свидетельствует и темп потери реактивности за год (таблица 3). Следовательно, переотравление первых слоёв отражателя влияет не только на запас реактивности, но и на темп потери реактивности во время стоянки.

2.3.3 Кампания после стоянки

На рисунках 24 и 25 приведено изменение запаса и темпа потери реактивности в кампании после стоянки для модели с ЗО и ЦО.

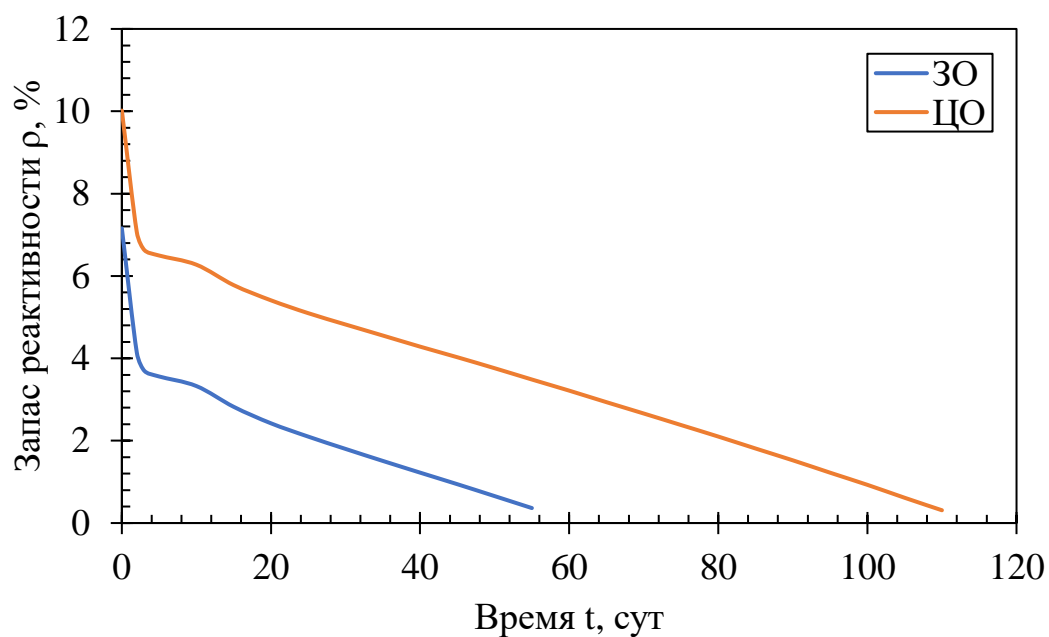


Рисунок 24 – Изменение запаса реактивности в кампании после стоянки

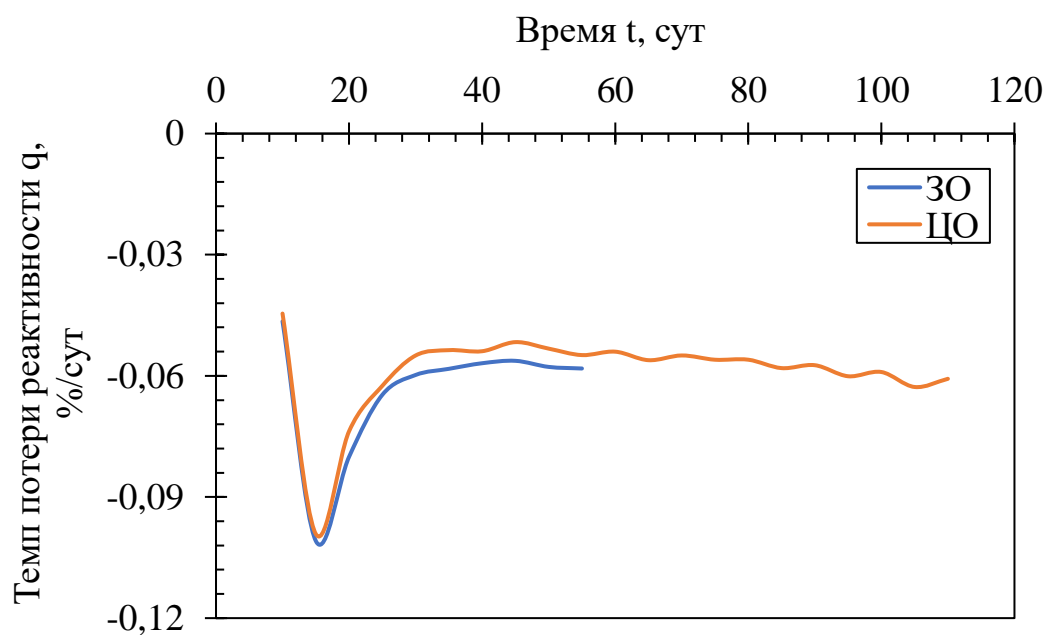


Рисунок 25 – Темп потери реактивности в кампании после стоянки

Зависимости для кампании после стоянки повторяют подобные для последней кампании перед стоянкой (рисунки 19 и 20). Ясно виден результат проведения двух расчётов – разница в запасе реактивности: 7,2% против 10% и длительности кампании: 55 и 110 дней.

Оценим как стоянка сказалась на разнице в запасе реактивности между кривыми (сверхрасчётные потери) (2.4):

$$\rho_{\text{расчёт}} = \rho_{\text{ЦО}} - \rho_{\text{ЗО}}, \%, \quad (2.4)$$

$$\rho_{\text{расчёт}} = 10,018 - 7,157 = 2,862\% = 4,471\beta.$$

По итогам исследования, разница реактивностей для двух методов: с зонированным отражателем и с цельным отражателем, является довольно существенной – больше 4 долей запаздывающих нейтронов, чтобы с ней можно было не считаться.

Данный результат подтверждает данные, полученные при реальном пуске реактора ИРТ-Т в апреле 2016 после 700 дневной стоянки в период с июня 2014 по май 2016 года. Разница в величинах может обуславливаться режимом и продолжительностью работы реактора до этого, а также манипуляциями с бериллиевыми блоками (замены, перестановки).

Такая разница может привести к неправильной оценке возможностей реактора и ввести оператора в заблуждение, что грозит опасностью для работы реактора. Будь время работы до стоянки или сама стоянка дольше, реактор, имея меньшую степень подкритичности от рассчитанной, мог просто не выйти на мощность.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выполнение грамотной научно-исследовательской работы требует наличия экономической оценки всех её элементов: как объекта исследования, так и методов, которые для этого используются.

Цель данного раздела ВКР состояла в оценке конкурентоспособности и ресурсоэффективности исследования отравления бериллия в реакторе ИРТ-Т. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- произвести анализ конкурентных технических решений;
- произвести SWOT-анализ рассматриваемой установки;
- выявить структуру работ и их исполнителей;
- определить трудоемкость проводимых работ;
- разработать график проведения исследования;
- рассчитать размер бюджета исследования;
- оценить экономическую эффективность проекта.

Раздел выполнен по методике, представленной в пособии [16].

3.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Данный пункт представляет собой полный перечень проводимых работ, где определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным достаточно объективным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные сведения о выполнении данной работы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Выбор исходных параметров	НР, И	НР – 100% И – 70%
Выбор методики расчёта	НР, И	НР – 100% И – 80%
Проведение исследования	И	И – 100%
Оформление расчётно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Как видно из представленной выше таблицы, роль научного руководителя в ходе выполнения всех видов работ сводится к направляющей и контролирующей функциям, когда как инженер является исполнительным звеном – он выполняет все поставленные задачи для достижения установленной цели.

3.1.1 Продолжительность этапов работ

Продолжительность этапов работ могут быть рассчитаны следующими двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый метод подразумевает наличие и использование соответствующей нормативной базы трудоёмкости всех применяемых в работе процессов, так как они по своей природе являются повторяющимися с достаточно высокой частотой при условии стандартной, устойчивой обстановки. В связи с тем, что подобными

нормативами исполнитель не обладает в виду нестандартности и неравномерности распределения рабочих усилий применяется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Способ с применением достаточно актуальных, как с точки зрения времени, так и со стороны реальной применимости аналогов к разрабатываемой НИР имеет ряд преимуществ: он относительно прост в исполнении и не сопряжён с большим количеством затрат. Однако на практике он может быть слишком локальным и применяться только для отдельных элементов – невозможно найти абсолютно идентичных работ.

Второй способ – экспертный – применим в ситуации, когда аналоги выполняемой НИР отсутствуют. Он предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию.

Для определения вероятных значений продолжительности работы $t_{\text{ож}}$ применяется следующая формула:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (3.1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, сут.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, сут..

Как видно из самой конструкции формул, вторая требует большего анализа каждого из элементов работы и вероятностной оценки их продолжительности, что, очевидно, усложняет все

Для выполнения перечисленных в таблице 3.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести её в календарные дни.

Расчёт продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{РД}} = t_{\text{ОЖ}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{ВН}}, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчёт продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (3.3)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни;

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни;

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни.

При учёте, что $T_{\text{КАЛ}} = 366$, $T_{\text{ВД}} = 52$, $T_{\text{ПД}} = 14$.

Общая трудоёмкость равна:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}. \quad (3.4)$$

В приложении В приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоёмкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 3.1. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоёмкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента $K_{\text{Д}} = 1,15$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ОЖ}} \cdot K_{\text{Д}}$. Столбцы 8 и 9 – трудоёмкости, выраженные в календарных днях путём дополнительного умножения на $T_{\text{К}} = 1,22$. Итог по столбцу 5 даёт общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоёмкости для каждого из участников проекта. Величины трудоёмкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленный в приложении Г.

3.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Современные мировые тенденции определяют вектор развития любой технологической, научной и прочих отраслей. Поднимается вопрос о необходимости планирования и организации всех проводимых работ с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, существует потребность в определении затрат на проведение научно-исследовательских работ и их продолжительности, что, в свою очередь, определяет экономическую эффективность и конкурентоспособность реактора ИРТ-Т.

Полученные результаты исследования отравления бериллия и его влияния на запас реактивности позволяют продвинуться в вопросе эффективного использования бериллия как отражателя. Целевыми потребителями исследования могут быть кампании или организации занятые эксплуатацией реакторов с бериллиевым отражателем (в частности ТПУ с реактором ИРТ-Т) или специализирующиеся на разработке и/или проектировке реакторных установок., т.к. они заинтересованы в снижении издержек и получении максимальной результатов от своих установок.

Рынок ЯЭУ можно сегментировать по множеству критериев, одним из которых является уровень развития атомной энергетики страны и уровень достигнутой плотности потока нейтронов в ИР (рисунок 26).

		Плотность потока нейтронов в ИР		
		$\sim 10^{14} \text{н/см}^2 \cdot \text{с}$	$\sim 10^{15} \text{н/см}^2 \cdot \text{с}$	$\geq 10^{16} \text{н/см}^2 \cdot \text{с}$
Уровень развития атомной энергетики	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Рисунок 26 – Карта сегментирования рынка услуг ИР

Достижение более высокого уровня развития ЯЭ позволяет добиваться более высоких показателей в ИР. Кроме того, потребность в разработке ИР с высокими потоками нейтронов обуславливается необходимостью в проведении

всё более сложных исследований в области реакторного материаловедения, инженерных испытаний, наработки изотопов и решения прочих задач. Эти исследования позволят продолжить модернизировать конструкцию реакторов, проводить физические эксперименты и производить материалы и изотопы для промышленности и гражданской сферы.

3.3 Анализ конкурентных технических решений

Исследование проводилось для бериллия в отражателе реактора ИРТ-Т. Данный материал является обладает хорошими нейтронно-физическими свойствами, которые позволяют использовать его в качестве отражателя в ЯР, потому важно, чтобы влияние данного материала на запас реактивности было изучено и он мог оставаться конкурентноспособным.

Материалами конкурентами в роли отражателя в ЯР являются лёгкая вода и графит. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.5)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. В таблице 5 представлена оценочная карта конкурентоспособности различных характеристик, упомянутых реакторов, где B_B – бериллий, $B_{ЛВ}$ – лёгкая вода, B_G – графит.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_B	$B_{ЛВ}$	B_G	B_B	$B_{ЛВ}$	B_G
1	2	3	4	5	7	8	9
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Среднелогарифмическая потеря энергии при рассеянии	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3

Продолжение таблицы 5

2. Среднее число рассеяний до термализации	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
3. Замедляющая способность	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
4. Коэффициент замедления	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
5. Возраст нейтронов	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость материала	0,1	2	5	4	0,2	0,5	0,4
2. Срок эксплуатации	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
3. Обслуживание после использования	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
4. Уровень проникновения на рынок	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Итого:	1	31	42	33	3,45	4,45	3,85

Предоставленные выше данные позволяют провести анализ конкурентоспособности материала отражателя, представленного в данной работе. На основе данных, полученных в таблице 5, можно сделать вывод, что бериллий является не самым конкурентноспособным материалом, поэтому любые сложности, связанные с его эксплуатацией, могут привести к отказу от него и переходу на другой материал.

3.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ любого научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильными сторонами могут являться факторы, которые отражают наиболее конкурентоспособную сторону рассматриваемой установки.

Сильными сторонами исследования можно назвать следующие особенности:

- необходимость проведения исследования;
- простота внедрения полученных результатов и методов в реальный процесс эксплуатации реактора;

- невысокие временные и денежные затраты на исследование.

Слабыми сторонами считаются те особенности рассматриваемого объекта, которые могут препятствовать его наиболее выгодному и беспрепятственному использованию.

Слабые стороны исследования:

- исследование не основано на реальной кампании реактора;
- расчётная модель основана на создании зон с разными радиусами в отражателе, чтобы оценить реальное распределение концентрации ядер отравителей, однако такой подход описывает лишь радиальную составляющую этого эффекта.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям можно отнести:

- более точная оценка запаса реактивности реактора и темпа потери реактивности для каждой кампании;
- определение влияния длительной стоянки на запас реактивности;
- определение степени отравления как каждого блока, так и каждого слоя отражателя.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды объекта, что может иметь разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

К угрозам можно отнести:

- замена материала отражателя в реакторе;
- незаинтересованность целевых пользователей в результатах работы.

В таблице 6 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 6 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1. Необходимость проведения исследования. С2. Простота внедрения полученных результатов и методов в реальный процесс эксплуатации реактора. С3. Невысокие временные и денежные затраты на исследование.	Слабые стороны: Сл1. Исследование не основано на реальной кампании реактора. Сл2. Расчётная модель основана на создании зон с разными радиусами в отражателе, чтобы оценить реальное распределение концентрации ядер-отравителей, однако такой подход описывает лишь радиальную составляющую этого эффекта.
Возможности: В1. Более точная оценка запаса реактивности реактора и темпа потери реактивности для каждой кампании. В2. Определение влияния длительной стоянки на запас реактивности. В3. Определение степени отравления как каждого блока, так и каждого слоя отражателя.	1. Точная оценка запаса реактивности для каждой кампании позволит точнее прогнозировать возможное время работы установки и тем самым потратить это время более рационально для проводимых работ и сократить непредвиденные издержки, сделав реактор более конкурентноспособным. 2. Зная отравление каждого из блоков, можно своевременно проводить их замену или перестановку.	1. Проведение данных расчётов может увеличить время на подготовку к пуску реактора. 2. Манипуляции с отравленными блоками для их замены или перестановки являются ядерно-опасными т.к. блоки облучены и поэтому требуют подготовки и соблюдения всех мер предосторожности.
Угрозы: У1. Замена материала отражателя в реакторе. У2. Незаинтересованность целевых пользователей в результатах работы.	1. Результаты исследования позволяют эффективней использовать бериллий как отражатель. 2. Знание подобных эффектов увеличивает заинтересованность в проведение подобных экспериментов и точности их результатов.	1. Наличие подобных эффектов может оттолкнуть операторов установок от использования бериллия или спровоцировать переход на иной материал замедлителя.

Проведённый SWOT-анализ позволяет с достаточной для данной работы точностью определять дальнейшее положение рассматриваемого объекта на

соответствующем рынке. Исследование отравления бериллия позволяет эффективнее эксплуатировать установки с подобным замедлителем и избежать непредвиденных эффектов в дальнейшей работе.

3.5 Расчёт накопления готовности проекта

Текущее состояние работы над проектом нуждается в оценке для точного понимания всех затраченных усилий. Получаемые по итогу подобной оценки величины (величины накопления готовности работы) отображают количество процентов, на которое выполнен весь объём работ по проекту в целом по окончании текущего (i -го) этапа.

Введём некоторые обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ – общая трудоёмкость проекта;
- TP_i (TP_k) – трудоёмкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;
- TP_i^H – накопленная трудоёмкость i -го этапа проекта по его завершении;
- TP_{ij} (TP_{kj}) – трудоёмкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Степень готовности определяется формулой (3.5):

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (3.6)$$

Применительно к таблице, представленной в приложении В, величины TP_{ij} (TP_{kj}) находятся в столбцах (6, $j = 1$) и (7, $j = 2$). Величина $TP_{\text{общ}}$ равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Пример расчета $TP_i(\%)$ и $CG_i(\%)$ на основе этих данных содержится в таблице 7.

Таблица 7 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$TP_i, \%$	$CG_i, \%$
Постановка целей и задач, получение исходных данных	3,69	3,69
Составление и утверждение ТЗ	4,06	7,74

Продолжение таблицы 7

Подбор и изучение материалов по тематике	16,44	24,18
Разработка календарного плана	4,06	28,24
Обсуждение литературы	4,43	32,67
Выбор исходных параметров	10,75	43,41
Выбор методики расчёта	13,28	56,69
Проведение исследования	27,40	84,09
Оформление расчётно-пояснительной записки	6,32	90,41
Оформление графического материала	3,69	94,10
Подведение итогов	5,90	100

Очевидно, что наибольшее количество трудозатрат приложено на этапах подбора и изучения материала по тематике, проработки методики расчёта и при его непосредственном осуществлении, когда как этапы, включающие подбор и оформление различного рода документов, подготовку необходимой базы для проведения практических изысканий по отдельности потребовали меньше времени и сил.

3.6 Расчёт сметы на выполнение проекта

Смета на выполнение данного исследования содержит все расходы, необходимые для осуществления комплекса работ, необходимых для реализации всего спектра поставленных перед проектом задач. Расчёт полной (сметной) стоимости выполнения исследования производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;

- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.6.1 Расчёт затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно.

Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает, так называемые, транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (транзакции). Приблизённо они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Тетрадь 64 лист. формата А4	86	1 шт.	86
Ручка шариковая (синяя)	32	3 шт.	96
Карандаш	14	2 шт.	28
Литиевая батарейка	170	1 шт.	170
Итого:			380

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 380 \cdot 1,05 = 399.$$

3.6.2 Расчёт заработной платы

Данная статья расходов подразумевает суммарную заработную плату научного руководителя и инженера (исполнителя), с учётом входящих в фонд заработной платы различных премий. Основная заработная плата рассчитывается, опираясь на трудоёмкость выполнения каждого этапа и на величину месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}, \quad (3.7)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей неделе.

Пример расчёта затрат на полную заработную плату приведены в таблице 9. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из приложения В. Учёт всевозможных премий и районной надбавки осуществляется путём использования ряда коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,3$; $K_{\text{доп.зп}} = 1,2$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{доп.зп}} \cdot K_{\text{Р}}, \quad (3.8)$$

$$K_{\text{И}} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 2,028.$$

Таблица 9 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{\text{И}}$	Фон з/п, руб.
НР	35120	1400,15	14	2,028	39753,06

Продолжение таблицы 9

И	12130	483,59	30	2,028	29421,62
Итого:					69174,68

3.6.3 Расчёт затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование согласно установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,302, \quad (3.9)$$

$$C_{\text{соц}} = 69174,68 \cdot 0,302 = 20890,75.$$

Данные взносы идут в Фонд государственного социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд (ПФ) и Фонд медицинского страхования (ФФОМС).

3.6.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Данные расходы подразумевают затраты на то количество электроэнергии, которая потрачена для выполнения всего проекта, то есть на работу используемого оборудования. Они рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (3.10)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования рассчитывается на основе суммарной трудоёмкости работ из приложения В для исполнителя ($T_{\text{рд}}$) при условии, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (3.11)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{ОБ}}$ путём прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{С}}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_{\text{С}} \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_{\text{С}} = 1$.

Расчёт затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	252	0,34	492,49
Итого:			492,49

3.6.5 Расчёт амортизационных расходов

Данная статья подразумевает расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{H_{\text{А}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot n}{F_{\text{Д}}}, \quad (3.13)$$

где $H_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{\text{ОБ}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2020 г., при 300 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, F_d равен:

$$F_d = 300 \cdot 8 = 2400.$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

H_A определяется как величина обратная CA , в данном случае это:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4.$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 252 \cdot 70000 \cdot 1}{2400} = 2940.$$

3.6.6 Расчёт прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражаются расходы на выполнение проекта, которые не могут быть учтены в предыдущих статьях или же которые не могут быть предвидены. Их следует принимать равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (3.14)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (399 + 69174,68 + 20890,75 + 492,49 + 2940) \cdot 0,1 = 9389,69.$$

3.6.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта (таблице 11).

Таблица 11 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма	
		, руб.	, %
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	399	0,39

Продолжение таблицы 11

Основная заработная плата	$C_{ЗП}$	69174,68	66,97
Страховые взносы	$C_{СОЦ}$	20890,75	20,23
Расходы на электроэнергию	$C_{ЭЛ.ОБ}$	492,49	0,48
Амортизационные отчисления	$C_{АМ}$	2940	2,85
Прочие расходы	$C_{ПРОЧ}$	9389,69	9,09
Итого:		103286,61	100

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 103286,61$ руб. Проведение анализа вклада каждой из статей в суммарные затраты на работу выявило, что основной вклад вносят отчисления на заработную плату участников проекта, когда как расходы на материалы и обеспечение электроэнергией практически не повлияли на финальную величину.

3.6.8 Расчёт прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20% от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2, \quad (3.15)$$

$$G = 103286,61 \cdot 0,2 = 20657,32.$$

3.6.9 Расчёт НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2, \quad (3.16)$$

$$\text{НДС} = (103286,61 + 20657,32) \cdot 0,2 = 24788,79.$$

3.6.10 Цена разработки проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}, \quad (3.17)$$

$$C_{\text{НИР}} = 103286,61 + 20657,32 + 24788,73 = 148732,66.$$

3.6.11 Оценка экономической эффективности проекта

Ввиду закрытости или отсутствия данных по реактору ИРТ-Т оценка экономической эффективности и определение срока окупаемости данного проекта невозможно.

4 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

В работе было исследовано влияние отравления бериллиевых блоков реактора ИРТ-Т на запас реактивности. Объектом исследования является бериллий в активной зоне реактора ИРТ-Т, сама работа проводилась с использованием ЭВМ и программы для нейтронно-физического расчёта.

Проведение такого исследования позволит точнее оценивать изменение запаса реактивности реактора ИРТ-Т в каждой компании и тем самым эффективнее использовать его, сберегая природные ресурсы.

В рамках раздела будут рассмотрены меры по защите сотрудника реактора ИРТ-Т от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы, негативно влияющие на здоровье человека при работе с соответствующими элементами. Изучаются способы снижения воздействия вредных факторов до допустимых пределов. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и порядок действий во время них.

Раздел выполнен по методике, представленной в пособии [17].

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В России нормы труда регулируются Трудовым кодексом РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [18]. Применительно к конкретными

условиям труда (работа на исследовательском реакторе) существуют следующие особенности трудового законодательства.

Так, в соответствии со ст. 92 условия труда для работников атомной отрасли в связи с работой с ионизирующими излучениями относятся к вредным условиям труда или опасным с сокращением продолжительности рабочего времени - не более 36 часов в неделю. Ст. 94 гласит, что для работников занятых на вредных или опасных производствах ежедневная продолжительность труда не может превышать:

- при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;
- при 30-часовой рабочей неделе - 6 часов.

На основании ст. 103 на ИП предполагается введение сменной работы, она вводится в тех случаях, когда длительность производственного процесса превышает допустимую продолжительность ежедневной работы, а также в целях более эффективного использования оборудования, увеличения объема выпускаемой продукции или оказываемых услуг. Это полностью соответствует режиму работы на реакторе, т.к. реактор работает продолжительное время, а опасные условия труда не позволяют рабочему работать длительное время.

Согласно ст. 147 оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, производится в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда. Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учётом мнения представительного органа работников.

По мере развития атомной техники эффективность ядерных установок и уровень выработки (энергии, материалов и т.п.) могут расти, что повлечёт за собой изменение норм труда. В соответствии с этим на основании ст. 160 нормы труда могут быть пересмотрены по мере совершенствования или внедрения новой техники, технологии и проведения организационных либо иных мероприятий, обеспечивающих рост производительности труда, а также в случае

использования физически и морально устаревшего оборудования. Достижение высокого уровня выработки продукции (оказания услуг) отдельными работниками за счет применения по их инициативе новых приемов труда и совершенствования рабочих мест не является основанием для пересмотра ранее установленных норм труда. Кроме того, работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки.

Работа на реакторе сопряжена с возможностью получения профессионального заболевания, связанного с воздействием ионизирующего излучения. Поэтому в соответствии со ст. 184 при повреждении здоровья или в случае смерти работника вследствие несчастного случая на производстве либо профессионального заболевания работнику (его семье) возмещаются его утраченный заработок (доход), а также связанные с повреждением здоровья дополнительные расходы на медицинскую, социальную и профессиональную реабилитацию либо соответствующие расходы в связи со смертью работника. Виды, объемы и условия предоставления работникам гарантий и компенсаций в указанных случаях определяются федеральными законами.

Манипуляции с реактором и работа, связанная с его обслуживанием, производятся преимущественно при помощи пультов управления, сидя за ними или личными рабочими местами. Поэтому организационные вопросы по обеспечению безопасности на рабочем месте связаны с созданием достаточных условий для безопасной и комфортной работы в таких условиях. Работа за пультом управления регламентируется – ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования [19], а работа за рабочим креслом стоит на ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования [20].

Основные тезисы из этих документов гласят о следующем:

- пульт управления не должен иметь посторонних элементов, затрудняющих работу оператора;
- панели информации и органов управления не должны располагаться друг против друга;

- пульт управления для работы в положении сидя должны иметь достаточное пространство для ног оператора;
- кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу;
- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;
- конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений.

4.2 Производственная безопасность

Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть во время работы, перечислены в таблице 12.

Таблица 12 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
2. Ионизирующее излучение			+	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009
3. Отсутствие или недостаток искусственного и естественного освещения	+	+	+	СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение

4.2.1 Отклонение показателей микроклимата. Анализ фактора

Показателями, характеризующими микроклимат, являются [21]:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Источником возникновения отклонений вышеперечисленных параметров является: нагрев поверхностей технологического оборудования, влияние окружающей среды на рабочее помещение, неправильная проектировка и/или выбор материалов рабочего помещения, неверный режим работы вентиляции.

В целом отклонение показателей микроклимата приводит к снижению работоспособности человека, переутомляемости и риску возникновения заболеваний. Каждый из параметров микроклимата оказывает влияние на человека, а в совокупности они могут усиливать негативное влияние на организм.

Так, понижение температуры воздуха ведёт к переохлаждению организма, повышение скорости движения воздуха лишь усиливает этот эффект. Повышение температуры воздуха приводит к перегреву организма, если при этом влажность воздуха высокая, то менее интенсивно испаряется пот и тем быстрее наступает перегрев организма, приводящий к снижению работоспособности. Интенсивное тепловое излучение приводит к чрезмерному нагреву воздуха в помещении со всеми вытекающими последствиями.

Каждой категории работ присваиваются определённые оптимальные и допустимые параметры микроклимата. Работа персонала на ИР категоризируется как лёгкая физическая работа (категория 1б). Показатели для температуры, влажности и скорости воздуха представлены в приложении Д таблице Д.1.

Помимо этого существует замечание в пункте 1.4, согласно которому: «В кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и других производственных помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24°C, его относительной влажности 60-40% и скорости движения (не более 0,1 м/с)».

Интенсивность теплового облучения поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и

непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м при облучении 50% поверхности тела и более, 70 Вт/м - при величине облучаемой поверхности от 25 до 50% и 100 Вт/м - при облучении не более 25% поверхности тела.

При наличии теплового облучения температура воздуха на постоянных рабочих местах не должна превышать указанные в таблице А.1 верхние границы оптимальных значений для тёплого периода года.

Провести анализ на соответствие нормам невозможно в виду отсутствия необходимого оборудования и доступа к помещениям и нормативным документам ИРТ-Т.

В качестве средств коллективной защиты от изменений показателей микроклимата в производственных помещениях должны применяться: теплоизоляция или теплозащитные экраны, отопление, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха, регламентация времени работы и отдыха и т.п.

Средствами индивидуальной защиты являются спецодежда и специальная обувь.

4.2.2 Ионизирующее излучение. Анализ фактора

Источники ионизирующего излучения [22]:

- техногенные источники за счёт нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- техногенные источники в результате радиационной аварии;
- природные источники;
- медицинские источники.

Источником ИИ является активная зона ЯР ИРТ-Т, которая категоризируется как техногенный источник, находящийся в нормальном режиме эксплуатации.

Воздействие излучения может быть внутренним или внешним. Внутренне воздействие ионизирующего излучения происходит, когда радионуклиды вдыхаются, поглощаются или иным образом попадают в организм. Внешнее

радиоактивное заражение может возникнуть, когда радиоактивный материал в воздухе (пыль, жидкость, аэрозоли) оседает на кожу или одежду.

Классическим примером радиационного поражения организма человека является острая лучевая болезнь, возникающая после однократного внешнего равномерного облучения. Облучение выше определенных пороговых значений может нарушить функционирование тканей и/или органов и может вызвать острые реакции, такие как покраснение кожи, выпадение волос, повышение вероятности онкологии в будущем, радиационные ожоги или острый лучевой синдром.

Для определения ограничения уровня облучения устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- всё население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Основные пределы доз (ПД), приведенные в приложении Д таблице Д.2.

Провести анализ на соответствие нормам невозможно в виду отсутствия необходимого оборудования и доступа к помещениям и нормативным документам ИРТ-Т.

К средствам коллективной защиты от ИИ относятся оградительные устройства, предупредительные устройства, сокращение продолжительности работы в зоне излучения, экранирование источника, устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей, средства дезактивации, устройства автоматического контроля, устройства дистанционного управления, средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ, знаки безопасности, ёмкости для радиоактивных отходов.

Индивидуальные средства защиты включают спецодежду, средства защиты органов дыхания и зрения.

4.2.3 Искусственное и естественное освещение. Анализ фактора

В рабочих помещениях реактора используется комбинированное освещение – искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД. Работа относится к работе высокой точности, необходимо, чтобы параметры освещенности рабочего места соответствовали требованиям СНиП 23-05-95* [23].

Так как работа предполагает длительные монотонные операции с высоким уровнем зрительной работы, то есть различение объектов высокой точности, размером от 0,3 до 0,5 мм, то необходимо принять за норму освещенности рабочего места не менее 300 лк и не более 500 лк. Для инженера на исследовательском реакторе в комнатах контрольных помещений освещение рабочего места должно быть равно 500 лк. Коэффициент пульсации в обоих случаях не должен превышать 15%.

4.3 Экологическая безопасность

Разрабатываемое решение при своей реализации непосредственно затрагивает работу реактора. Работа реактора сопряжена с использованием и наработкой радиоактивных материалов, которые смертельно опасны для окружающей среды, помимо этого сам бериллий является токсичным материалом, поэтому выход данных материалов за пределы реактора в случаях, не предусмотренных технологическим процессом недопустим.

Выйдя за пределы реактора, радиоактивные материалы будут переноситься в атмосфере и гидросфере, мигрировать в почве, накапливаться в растениях, пище, постепенно рассеиваясь и понижая свою концентрацию [24].

Для защиты от такого воздействия необходимо создание:

– сдерживающие барьеры, с контролем целостности физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду;

– постоянный дозиметрический контроль, система радиационного контроля, которая должна обеспечивать измерение значений контролируемых параметров, характеризующих радиационное состояние на АС и в окружающей среде в определенном объеме при всех режимах работы АС, а также при проектных и запроектных авариях;

– санитарно-защитные зоны, должны быть предусмотрены непрерывные измерения в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения мощности доз ионизирующего излучения, скорости ветра и других метеорологических параметров, а также периодические измерения плотности радиоактивных выпадений для оценки и прогнозирования радиационной обстановки на окружающей местности при нормальной эксплуатации АС и нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные и запроектные аварии;

– учёт и контроль ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, в том числе свежего и отработавшего ядерного топлива, демонтированного радиоактивного оборудования, загрязненного инструмента, одежды, производственных отходов, других источников ионизирующего излучения.

В целях обеспечения безопасности населения и в соответствии с Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.99 N 52-ФЗ, вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, устанавливается специальная территория с особым режимом использования. В соответствии с этим для подобных объектов необходимо организовать работу по оценке загрязнения атмосферного воздуха, физического воздействия на атмосферный воздух, на основе которой должно приниматься решение по обоснованию необходимости создания санитарно-защитной зоны.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Источниками чрезвычайных ситуаций могут быть факторы как техногенного, природного, биологического, социального, так и экологического

характера. Возможные чрезвычайные ситуации при эксплуатации проектируемого решения:

- стихийные бедствия геологического характера;
- выброс радиоактивных веществ;
- пожары;
- обрушение зданий;
- терроризм.

Пожар наиболее вероятный вид ЧС.

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий [25].

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и

оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;

- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;

- принять меры в соответствии с инструкцией.

Заключение

В рамках проведённой работы было исследовано отравление бериллия в реакторе ИРТ-Т при помощи программы WIMS-ANL. Были созданы две модели, призванные подтвердить гипотезу о сверхрасчётных потерях реактивности из-за неравномерного распределения концентрации ядер-отравителей.

Получены следующие результаты:

- построены зависимости изменения концентрации ядер-отравителей и трития в модели с ЦО и ЗО;
- зависимости концентраций от времени имеют сложный характер и зависят как от номера кампании или её времени (начало/конец), так и от режима работы (на мощности/стоянка);
- центральная ловушка нейтронов была отравлена сильнее бокового отражателя. Обе модели (в целом) были одинаково отравлены, что важно для однозначной связи градиента концентрации и эффекта отравления;
- в ЗО существует градация слоёв отражателей по степени отравления. Так самые отравленные это граничные с аз слои отражателей (4 и 5), кроме этого, слои центрального отражателя наиболее отравленные (1-4);
- исследована зависимость запаса реактивности от времени исследования;
- эффект отравления нарастал со временем уменьшая запас реактивности и время работы, и разнился для моделей. Модель с ЗО имела меньший запас реактивности на начало каждой следующей кампании и имела меньшую продолжительность работы, соответственно эффект отравления в ней был сильнее при равной концентрации ядер-отравителей;
- средняя потеря реактивности в год составила: ЗО – $\rho_{Be}^{год} = 1,81$ %/год, ЦО – $\rho_{Be}^{год} = 1,59$ %/год;
- средние потери в продолжительности кампании для ЗО – $T = 20,87$ сут;
- за время стоянки была потеряна реактивность в размере: ЗО – $d\rho = -2,5$ %, ЦО – $d\rho = -2,1$ %;

– темп потери реактивности во время стоянки в ЗО был выше и составил $dp/dt = -1,3$ %/год против $dp/dt = -1,1$ %/год в ЦО. Эффект отравления влияет как на запас реактивности, так и на темп его потери.

– запас реактивности в начале кампании после стоянки в ЗО и ЦО составил 7,2% и 10% соответственно, сами кампании продлились 55 и 110 дней;

– сверхрасчётные потери реактивности составили $\rho_{\text{расчёт}} = 2,862\% = 4,471\beta$. Значения подтверждают реальные данные пуска ИРТ-Т после стоянки, более точный результат можно было бы получить, повторив реальный режим работы реактора.

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

– определение сильных и слабых сторон проделанного исследования (SWOT-анализ) показало, что данная работа позволит эффективнее эксплуатировать установки с подобным замедлителем и избежать непредвиденных эффектов в дальнейшей работе.

– затраты на настоящее исследование практически не отличаются от затрат, которые осуществляются в ходе стандартной работы научного руководителя и исполнителя, не связанных с вовлечением в различные научные изыскания, за исключением расходов, связанных с проработкой проекта, а именно: часть налогов(НДС), прибыль и прочие расходы.

– бюджет научно-технического исследования составил 148733 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (399 руб.), затрат на оплаты труда (69175 руб.), оплату страховых взносов (20891 руб.), расходов на электроэнергию (492 руб.), амортизационных отчислений (2490 руб.) и прочих расходов (9390 руб.).

– оценка экономической эффективности не проведена по причине закрытости или отсутствия данных по ИРТ-Т.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»:

- работа на ИП связана с ИИ, поэтому она предполагает сокращение рабочего дня, введение сменной работы, повышенной заработной платой и т.д.;
- определены вредные факторы, такие как: отклонение показателей микроклимата, ионизирующее излучение, отсутствие или недостаток освещения. Выявлены источники возникновения фактора, определено воздействие фактора, приведены допустимые нормы и предполагаемые средства защиты;
- рассмотрен характер воздействия рассматриваемого объекта на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу). Основную опасность для экологии представляют радиоактивные материалы, определены методы организации защиты;
- проведён краткий анализ возможных ЧС. Рассмотрена наиболее типичная из них – пожар, указаны превентивные меры по предупреждению и порядок действий при его возникновении.

Список использованной литературы

1. Бать Г.А. Исследовательские ядерные реакторы: учебное пособие для вузов / Г. А. Бать, А. С. Коченов, Л. П. Кабанов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
2. Лабораторный практикум на реакторе ИРТ-Т. Часть 1 / В.А. Варлачѳв, Т.В. Бузуверова, О.Ф. Гусаров, С.А. Заболотнов и др.. – Томский политехнический университет; ГНУ НИИ ядерной физики при ТПУ. – Томск: изд-во ТПУ, 2003. – 96 с.
3. Мерзликин Г.Я. Основы теории реакторов / Г.Я. Мерзликин. – 3-е изд., перераб. и доп.. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2011. – 452 с.
4. Ма Б.М. Материалы ядерных энергетических установок: пер. с англ. / Б.М.Ма. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 408 с.
5. Герасимов В.В. Материалы ядерной техники: Учебник для вузов / В.В. Герасимов, А.С. Монахов. – изд. 2, перераб. и доп. – М: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
6. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации / В.И. Владимиров. – изд. 5-е, перераб. и доп.. – Москва: Книжный дом «Либроком», 2009. – 480 с.
7. Чакин В.П. Эволюция микроструктуры и физико-механических свойств бериллия при высокодозном нейтроном облучении: Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук / В.П. Чакин. – Уфа: Ульяновский государственный университет, 2017. – 271 с.
8. Калыгин В.В. Влияние накопления He^3 и Li^6 в бериллиевых блоках на нейтронно-физические характеристики реактора МИР / В.В. Калыгин, А.П. Малков, В.В. Пименов // Атомная энергия, Т. 104, вып. 2. – 2008. – С. 84-88
9. Прозорова И.В. Влияние отравления бериллиевых блоков на нейтронно-физические характеристики реактора ИВГ.1М/ И.В Прозорова // Известия Томского политехнического университета, Т. 326, вып. 2. – 2015. – С. 148-155
10. Beryllium poisoning in the MARIA reactor / K. Andrzejewski T. Kulikowska M. Bretscher, J. Matos. – Poland; USA, 2001. – 8 p. // URL:

https://www.researchgate.net/publication/236469787_Beryllium_poisoning_in_the MARIA_reactor

11. Study the effect of beryllium reflector poisoning on the Syrian MNSR / H. Omar, N. Ghazi, Kh. Haddad, H. Ezzuddin. – Damascus, 2012. – 6 p.
12. Влияние отравления бериллия на нейтронно-физические характеристики реактора ИРТ-Т/ В.А. Варлачев, Ю.Б. Чертков, А.Г. Наймушин, С.А. Клостер, А.С. Нуркин. – Томск, 2017. – 13 с.
13. Чертков Ю.Б. Сборник практических работ по курсу инженерные расчёты и проектирование ЯЭУ: учебное пособие / Ю.Б. Чертков. – Томск, 2014. – 108 с.
14. WIMS-ANL USER MANUAL / J.R. Deen, W.L. Woodruff, C.I. Costescu, L.S. Leopando. – Argonne national laboratory, Argonne, Illinois. – 2004, 170 p.
15. Beryllium poisoning model for research reactors / M. Wroblewska, A. Boettcher, P. Blaise et al.. – Świerk; St-Paul-Lez-Durance, 2017. – 9 p. // URL: https://www.researchgate.net/publication/321184360_BERYLLIUM_POISONING_MODEL_FOR_RESEARCH_REACTORS
16. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова и др.. – Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
17. Пашков Е.Н. Социальная ответственность: Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ / Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.
18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. – 2002. – N 1. – Ст. 3.

- 19.ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования [Текст]. – Введ. 01.01.1979. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 12 с.
- 20.ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования [Текст]. – Введ. 01.07.1977. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 15 с.
- 21.ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст]. – Введ. 01.01.1989. – М.: Стандартиформ, 2008. – 49 с.
- 22.СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009 [Текст]. – Введ. 01.09.2009. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 101 с.
- 23.СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение [Текст]. – Введ. 01.01.1995. – М.: Госстрой России, 2003. – 59 с.
- 24.Белозерский Г. Н. Радиационная экология: учебник для вузов / Г. Н. Белозерский. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 418 с. // URL: <https://ezproxy.ha.tpu.ru:3013/book/radiacionnaya-ekologiya-455492> (дата обращения: 22.05.2020).
- 25.СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – Введ. 01.01.1998 – Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 21 с.

Приложение А

(обязательное)

CELL 6

SEQUENCE 1

NGROUP 4 4 4

NMESH 40 40

NMATERIAL 4 4

NREGION 4

PREOUT

INITIATE

PRTOPT 1

ANNULUS 1 8.068 1

ANNULUS 2 19.763 3

ANNULUS 3 30.00 2

ANNULUS 4 40.00 4

MATERIAL 1 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 2 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 3 -1 353. 1 \$

235 0.0002472 \$

238 0.00002747 \$

2001 0.0301 \$

16 0.020 \$

27 0.03011

MATERIAL 4 -1 323. 3 2001 0.064 16 0.032

S 32

MESH 10 10 10 10

FEWGROUPS 6 14 45 69

FREE
SUPPRESS 0010100000000000
BEGINC

ISOXC 0110000101100
PART 6384569
VECTOR 1234
BUCKLING 0.0007 0.0001
NO BUCKLING SEARCH
BEGINC

.....

Приложение Б

(обязательное)

CELL 6

SEQUENCE 1

NGROUP 4 4 4

NMESH 75 75

NMATERIAL 12 12

NREGION 12

PREOUT

INITIATE

PRTOPT 1

ANNULUS 1 4.962 1 5

ANNULUS 2 6.524 2 5

ANNULUS 3 7.499 3 5

ANNULUS 4 8.068 4 5

ANNULUS 5 19.763 11 15

ANNULUS 6 20.340 5 5

ANNULUS 7 21.027 6 5

ANNULUS 8 22.000 7 5

ANNULUS 9 23.427 8 5

ANNULUS 10 25.777 9 5

ANNULUS 11 30.00 10 5

ANNULUS 12 45.00 12 10

MATERIAL 1 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 2 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 3 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 4 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 5 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023
 MATERIAL 6 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023
 MATERIAL 7 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023
 MATERIAL 8 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023
 MATERIAL 9 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023
 MATERIAL 10 -1 323. 4 9 0.1124 2001 .0046 16 0.0023

MATERIAL 11 -1 353. 1 \$
 235 0.0002472 \$
 238 0.00002747 \$
 2001 0.0301 \$
 16 0.020 \$
 27 0.03011

MATERIAL 12 -1 323. 3 2001 0.064 16 0.032

S 32

MESH 5 5 5 5 15 5 5 5 5 5 5 10

FEWGROUPS 6 14 45 69

FREE

SUPPRESS 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

BEGINC

ISOXC 0 1 10000 1 0 1 1 0 0

PART 6 38 45 69

VECTOR 1 2 3 4

BUCKLING 0.0007 0.0001

NO BUCKLING SEARCH

BEGINC

.....

Приложение В

(обязательное)

















Таблица В.1 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоёмкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка задачи	НР	1	2	1,4	1,61	0	1,93	0
Составление и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	1	2	1,4	1,61	0,16	1,96	0,20
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	6	4,8	1,66	5,52	2,02	6,73
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,4	1,61	0,16	1,96	0,20
Обсуждение литературы	НР, И	1	2	1,4	0,32	1,61	0,39	1,96
Выбор исходных параметров	НР, И	2	3	2,4	2,76	1,93	3,37	2,36
Выбор методики расчёта	НР, И	2	4	2,8	3,22	2,58	3,93	3,14
Проведение исследования	И	8	14	10,4	0	11,96	0	14,59
Оформление расчётно-пояснительной записки	И	2	3	2,4	0	2,76	0	3,37
Оформление графического материала	И	1	2	1,4	0	1,61	0	1,96
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4	0,97	1,61	1,18	1,96
Итого:				31,2	13,75	29,90	16,75	36,48

Приложение Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Линейный график работы

Этап	НР	И	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
1	1,93	0											
2	1,93	0,19	 										
3	1,99	6,62		 									
4	1,93	0,19			 								
5	0,39	1,93				 							
6	3,31	2,32				 							
7	3,86	3,09					 						
8	0	14,35											
9	0	3,31											
10	0	1,93											
11	1,16	1,93											 

НР – ; И – .

Приложение Д

(обязательное)

Таблица Д.1 – Оптимальные и допустимые нормы микроклиматических параметров в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м\с	
		оптимальная	допустимая					
			верхняя граница	нижняя граница	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	Лёгкая - 1б	21-23	24	20	40-60	75	0,1	не более 0,2
Тёплый		22-24	28	21	40-60	60 (при 27°С)	0,2	0,1- 0,3

Таблица Д.2 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз		
	Персонал (группа А)	Персонал (группа Б)	Население
Эффективная доза, мЗв/год	20, но не более 50 за 5 послед. лет	5, но не более 12,5 за 5 послед. лет	1 мЗв, но не более 5 за 5 послед. лет
Эквивалентная доза, мЗв/год			
– хрусталике глаза	150 мЗв	37,5 мЗв	15 мЗв
– коже	500 мЗв	125 мЗв	50 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв	125 мЗв	50 мЗв